

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2020

Matti Marttala

KAHDEN PUUKERROSTALON RAKENTEELLINEN VERTAILU



Matti Marttala

KAHDEN PUUKERROSTALON RAKENTEELLINEN VERTAILU

Puu on suomalaisille tuttu rakennusmateriaali, mutta kerrostalon kantavana rakennusmateriaalina puuta alettiin tutkia Suomessa vasta 1990-luvulla. Kuluneiden vuosien aikana puuteollisuus on joutunut tekemään väsymätöntä työtä luodakseen puusta toimivan ja kustannustehokkaan rakennusmateriaalin kerrostalorakentamista varten. Vuosien aikana kehitetyt insinööripuut sekä rakennustekniikat luovat perustan nykypäivän suomalaiselle puukerrostalorakentamiselle. Opinnäytetyön tilaajana toimii Bonava Suomi Oy ja sen tavoitteena oli selvittää kahden puukerrostalon rakennustyyppien heikkouksia ja vahvuuksia. Vertailtavista rakennuksista toinen on valmistunut Varsinais-Suomen alueelle ja toisen tuotanto on alkamassa.

Rakennustyyppien vertailua varten haastateltiin molempien puukerrostalojen puurakennesuunnittelijaa, sekä tuotannossa toiminutta henkilöä. Haastatteluiden pohjalta opinnäytetyöhön koottiin rakennustyyppien heikkoudet ja vahvuudet logistisesta, tuotannollisesta, paloteknisestä ja ääniteknisestä näkökulmasta. Haastatteluiden avulla selvitettiin rakennustyyppien ja elementoinnin luomat erot, joiden pohjalta näiden heikkoudet sekä vahvuudet pystyttiin havainnoimaan. Suurimmat erot rakennustyyppeihin loi erivaiheinen elementointi, joka vaikutti kaikkiin vertailussa huomioituihin näkökulmiin. Näitä huomioita voidaan käyttää hyödyksi puukerrostaloprojektin suunnittelussa, sekä puurakenneteollisuuden jatkotutkimuksissa.

Puurakentamisessa ilmenee puurakentamisesta puuttuva vakiointi, mitä tulee kehittää puurakentamisen tehokkuuden parantamiseksi. Rakennustyyppien elementoinnissa syntyvien erojen huomiot, osoittautuivat varsin merkittäväksi osaksi opinnäytetyötä. Toisessa rakennuksessa käytettävän pienemmälle asteelle elementoidun rakennustyyppin hyödyt olivat yllättävän suuria, kuitenkin jättäen useita työvaiheita työmaalle toteutettavaksi.

ASIASANAT:

puukerrostalo, puurakentaminen, rakennusteollisuus, rakennustyyppi, CLT-levy, rakennevertailu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Olli Hautaniemi, M.Sc. Eng.

2020 | 47 pages, 0 pages in appendices

Matti Marttala

A STRUCTURAL COMPARISON OF TWO WOODEN APARTMENT BUILDINGS

Wood is a widely used building material in Finland and it has been one of the most important building materials for centuries. Yet there are no studies of wood being a load-bearing material until 1990. Over the years the wood industry has had to work persistently to make wood a functional and cost-effective material for wooden apartment buildings. Engineer wood and new construction techniques are the basis for the current Finnish wooden apartment building construction.

The client of this thesis was Bonava Suomi Oy and its goal were to determine the weaknesses and strengths of the structural types of two wooden apartment buildings. One of the buildings was completed in the region of Varsinais-Suomi and the other one is in the process of beginning.

To compare the types of structures, the structural designer of both wooden apartment buildings and a person working in production were interviewed. Based on the interviews, the weaknesses and strengths of the structure types from a logistical, productional, fire technical and acoustical point of view were compiled into the thesis. The differences created by the types of structures and element were discovered by the interviews. Based on them it was possible to observe to strengths and weaknesses. The biggest differences were noticed in different stages of elementation that influenced every point of view. These discoveries can be used in the planning of a wooden apartment building project, as well as in further research in the wood construction industry.

The thesis concludes with a summary of the biggest strengths and weaknesses of different construction types and remarks the lack in standardization in wood construction. This should be developed because it would increase the effectiveness of wood construction. The most important discovery in the thesis was the differences established in construction type element.

KEYWORDS:

wooden apartment building, wood construction, construction industry, structure type, CLT, structure comparison

SISÄLTÖ

KÄYTETTY SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 PUUKERROSTALORAKENTAMINEN	8
2.1 Puukerrostalon määritelmä	9
2.2 Palomääräysten päivittyminen	10
2.3 CLT-levyn tuotanto ja ominaisuudet	11
2.4 Säädökset	13
2.4.1 Paloteknisten säädöksiä vaikutukset	13
2.4.2 Äänitekniikan vaikutukset ja säädökset	16
3 RAKENNUSTEN 1 JA 2 RAKENNETYYYPIT	19
3.1 Ulkoseinät	19
3.2 Välipohjat	21
3.3 Yläpohjat	23
3.4 Huoneistojen välinen seinä	24
3.5 Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä	26
4 RAKENTEIDEN VERTAILU	28
4.1 Logistiikka	28
4.2 Tuotanto	31
4.3 Palotekniikka	37
4.4 Äänitekniikka	39
5 PÄÄTELMÄT	42
5.1 Rakennus 1	42
5.2 Rakennus 2	43
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	46

KUVAT

Kuva 1. Suomalaisia puukerrostaloja.	8
Kuva 2. CNC-jyrsin ja CLT-levyn tuotantolinjasto.	12
Kuva 3. Puujulkisivun palokatko profiili.	15
Kuva 4. Sprinklerisuuttimia erilaisiin järjestelmiin.	16
Kuva 5. Norsonic Nor277-askeläänikoje.	17
Kuva 6. Huoneistojen välinen seinä.	18
Kuva 7. Rakennuksen 1 ulkoseinän rakennetyyppi.	19
Kuva 8. Rakennuksen 2 ulkoseinän rakennetyyppi.	20
Kuva 9. Rakennuksen 1 välipohjan rakennetyyppi.	21
Kuva 10. Rakennuksen 2 välipohjan rakennetyyppi.	22
Kuva 11. Rakennuksen 1 yläpohjan rakennetyyppi.	23
Kuva 12. Rakennuksen 2 yläpohjan rakennetyyppi.	24
Kuva 13. Rakennuksen 1 huoneistojen välinen seinä.	25
Kuva 14. Rakennuksen 2 huoneistojen välinen seinä.	26
Kuva 15. Rakennuksen 1 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä.	27
Kuva 16. Rakennuksen 2 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä.	27
Kuva 17. Rakennuksen 1 välipohjaelementti.	33
Kuva 18. Rakennuksen 2 teräsprofiilin liitosdetalji.	34
Kuva 19. CLT-levyn kannatus naulalevyristikosta.	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Rakennusmateriaalien paloluokitus.	14
Taulukko 2. Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle.	17

KÄYTETTY SANASTO

akustinen jousiranka	parantaa rakenteen ääneneristävyyttä; toiminta rakenteessa perustuu sen joustavuuteen; kattoon asennettuna akustinen jousiranka voi parantaa ilma- ja askelääneneristävyyttä jopa yli 10 dB (Saint-Gobain 2019)
EPDM-tiivistenauha	eteenipropeenikumi; EPDM-kumia käytetään usein tiivisteratkaisuissa sen pitkän elinkaaren sekä lämpötilan- ja säänkestävyyden vuoksi (Finnprofiles 2020)
kelluva lattiarakenne	erillinen talotekniikasta ja seinistä irrotettu rakenneosa; lattian päälle valettava laatta toimii tällöin kelluvana pintarakenneena (RT 83-10902, 3)
Kerto-S	viilupuuta, joka valmistetaan liimaamalla yhteen sorvattuja havupuuviiluja; viilut ovat yleensä kuusesta ja niiden vähimmäispituus Suomessa on 1 200 millimetriä (Siikanen 2016, 108–109)
Lamelli	puulevy; CLT-levy tuotetaan liimaamalla eripaksuisia lamelleja ristikkäin yhteen. (Stora Enso 2013b.)
OSB-levy	useista pitkistä ja kapeista lastuista valmistettu levy; liima- tessa päällimmäiset lastut suunnataan levyn suuntaisesti, näin levystä saadaan mahdollisimman luja (Siikanen 2016, 112)
Välipohjapalkisto	rakennetaan käyttämällä yhdensuuntaisia kantavia rakennepalkkeja, joiden tehtävä on siirtää välipohjan kuormat pystyrakenteille (Siikanen 2016, 359–360)

1 JOHDANTO

Betoniteollisuus on hallinnut kerrostalorakentamisen markkinoita viimeiset 60 vuotta jättäen puurakentamisen varjoonsa. Kuitenkin palomääräysten päivittyminen ja ihmisten mielenkiinto ympäristöä kohtaan on kasvattanut puukerrostalorakentamisen jalansijaa Suomessa varsin vauhdikkaasti. Puukerrostalojen tarjotessa ekologisemman tavan asua kaupungissa on ihmisten mielenkiinto puuta kohtaan kasvussa. (Puuinfo 2020d.)

Koska puukerrostalorakentamisen on Suomen rakennusosalalla uutta, tulee puun käyttämistä tutkia laajemmin. Kuitenkin tällä hetkellä puurakentamisesta oleva kirjallisuus on varsin vähäistä. Suomessa puun ollessa täysin erilainen kerrostalon runkomateriaali verrattuna betoniin, tulee myös tällaiseen projektiin osallistuvien rakennesuunnittelijoiden opiskella uutta.

Puukerrostalorakentamisessa käytettäviä rakennetyyppejä on useita, mikä viittaa siihen ettei puurakentamisessa ole yhtä oikeaa ratkaisua kaikkiin rakennuksiin. Rakennetyypit vaihtelevat rakennuksen vaatimusten mukaan. Rakennetyyppien heikkoudet ja vahvuudet selvittämällä on kerrostalon suunnittelussa parempi mahdollisuus löytää juuri kyseiseen projektiin parhaiten sopivat rakennetyypit. Useat opinnäytetyössä havaitut erot perustuvat rakennetyyppien elementoinnin eroihin, sillä tällöin esimerkiksi logistiikka muuttuu lähes täysin.

Opinnäytetyön aiheena on kahden CLT-rakenteisen puukerrostalon rakenteellinen vertailu. Opinnäytetyön tavoitteena oli kasvattaa rakennusteollisuuden tietoa eri puurakentamisen rakennetyypeistä ja niiden rakentamisen vaiheista. Opinnäytetyön alussa perehdytään puukerrostalorakentamiseen, sen historiaan ja puurakentamisen säädöksiin. Opinnäytetyössä otetaan myös pikainen katsaus CLT-levyyn ja sen ominaisuuksiin, sillä levy toimii molempien vertailtavien rakennusten kantavana runkomateriaalina. Vertailtavien rakennusten rakennetyypit käsitellään opinnäytetyössä läpi pääpiirteittäin. Rakennetyyppien käsittelyn jälkeen hyödynnetään rakennesuunnittelijan sekä tuotannossa toimineen henkilön tietoja. Näiden haastatteluiden pohjalta on rakennetyypeistä mahdollista kerätä niiden erot, vahvuudet ja heikkoudet.

2 PUUKERROSTALORAKENTAMINEN

Puukerrostalorakentaminen yleistyy Suomen markkinoilla. Suomen metsien vuosittainen kasvutahti on 110 miljoonaa kuutiota runkopuuta, josta onnistumme hyödyntämään ainoastaan 60–65 %. Puurakentamisen ekologisuus on herättänyt myös mielenkiintoa, sillä ihmisten tietoisuus ympäristöstä ja sen hyvinvoinnista on jatkuvassa kasvussa. Puurakentamisella tavoitellaan myös sisäilman viihtyisyyttä, joka kiinnostaa vahvasti kaupunkia ja pienempiä kuntia. Tämän seurauksena myös päiväkotien ja oppilaitosten rakentaminen puusta on yleistymässä. Yleistyvä puurakentaminen on luonut myös haasteita suunnittelijoiden koulutukselle, sillä vasta 1990-luvulla käynnistyi puun tutkiminen kerrostalon rakennusmateriaalina. (Kuva 1) Tähän on kuitenkin onnistuttu vastaamaan koulutuksen ja opetusmateriaalien avulla. Puurakentamisen tietotaidon kasvaminen näkyy jatkuvasti kehittyvässä arkkitehtuurissa. (Tolppanen ym. 2013, 16; Karjalainen 2019.)



Kuva 1. Suomalaisia puukerrostaloja (Puuinfo 2019).

2.1 Puukerrostalon määritelmä

Puukerrostalo on vähintään kaksikerroksinen, kantavalta runkomateriaaliltaan kokonaan tai lähes kokonaan puuta oleva rakennus. Puisesta runkomateriaalista huolimatta julkisivumateriaalina ei kuitenkaan ole välttämätöntä käyttää puuta. Näiden rakennusten kerrokset jakaantuvat eri asuntoihin. Puupinnan käyttäminen asunnon sisäpinnoissa mahdollistui palomääräysten päivittyessä vuonna 2011. Uusien määräysten avulla asukkaalle on mahdollista jättää puupintoja näkyviin niin kattoon, seiniin kuin lattiaankin. (Tolppanen ym. 2013.) Vuonna 2018 voimaan tulleet palomääräykset mahdollistivat tiettyin vaatimuksin vielä laajemmin puupintojen käyttämisen asunnon sisällä (Y 848/2017, 23. §–24. §).

Puukerrostalon runkojärjestelminä toimii rankarunko tai massiivipuurakenne. Nykypäivänä puukerrostalon rakentaminen tapahtuu suurilta osin tehtaissa, joista suuremmat elementit toimitetaan työmaille. Tämän tekniikan avulla puukerrostalorakentamisesta on saatu kustannustehokkaampaa, ja kilpailukykyä betonirakentamista vastaan on näin saatu parannettua. Suomessa vahvasti yleistymässä oleva CLT-tekniikka (Cross laminated timber) on havaittu varsin tehokkaaksi rakennustavaksi varsinkin korkeissa puukerrostaloissa, muun muassa vähäisen painuman vuoksi. Puurakentamisen haasteena ovat kantavien puurakenteiden jännevälit, joiden maksimimita tällä hetkellä on 4,5–6,5 metriä. (Karjalainen 2019.)

Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimusraportissa ilmenee CLT-tekniikan mahdollisuudet myös korkeammassa kerrostalorakentamisessa. Tutkimuksessa yhdistettiin, betoni, teräs ja puurakentaminen ja puu toimi pääasiallisena kantavana runkomateriaalina. Tutkimuksessa havaittiin mahdollisuus jänneväliden pidentämiseen yhdistämällä CLT-laatta ja betoni yhteiseksi liittorakenteeksi. Kyseisellä tekniikalla 42-kerroksisen rakennuksen välipohjassa saavutettiin yli 8,5 m:n jänneväli. (SOM 2013, 5, S-01, A-04.) Vertailtaessa muiden maiden rakennusteknisiä ratkaisuja tulee kuitenkin huomioida erilaiset maakohdattaiset vaatimukset, kuten välipohjan värähtely. Erot saattavat olla varsin suuria ja useissa tapauksissa Suomen vaatimukset estävät näiden käyttämisen Suomen puukerrostalorakentamisessa.

Suomessa puurakentamisen perinne on vahva, 1700-luvulle saakka puu oli lähes ainut käytettävä rakennusmateriaali (Viljakainen 1997, 25). Puun käyttäminen rakennusmateriaalina johti ammatti- ja tietotaidon kasvamiseen, joka on yhä havaittavissa

suomalaisessa rakennuskulttuurissa. 1990-luvun alussa puukerrostalorakentaminen alkoi selvästi kehittyä, sillä puun käyttöön etsittiin uusia käyttökohteita. Ympäristöystävällisten arvojen, ympäristötietoisuuden kasvaminen ja Euroopan unioniin liittyminen loivat puukerrostalorakentamiselle vakaan kasvualustan. (Tolppanen ym. 2013, 16–17.)

CLT-levyn käyttämisellä rakentamisessa on varsin lyhyt historia. CLT-levyn kehitys alkoi Itävallassa ja Saksassa 1990-luvun alussa. CLT-levyn käyttäminen kuitenkin yleistyi vasta 1990-luvun puolivälissä, kun Itävallassa aloitettiin yhteinen tutkimus sen tuottamisesta ja käyttämisestä rakennusmateriaalina. Tutkimustyön tuloksena saatiin nykypäivänä käytettävä CLT-levy, jonka käyttö alkoi yleistyä Yhdysvalloissa ja muualla maailmassa. (Arch2O 2020.)

Suomessa vuosia 1995–1997 kutsutaan puurakentamisen koerakentamisvaiheeksi. Ennen näitä vuosia rakennusmääräyksissä oli kiellettyä rakentaa yli kaksikerroksista puuverhoiltua rakennusta. Euroopan unioniin liittymisen yhteydessä alettiin tavoitella myös palomääräysten yhtenäistämistä. Koerakentamisvaiheen tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa asuttavuudeltaan ja arkkitehtuuriltaan laadukkaita, pääosin puurakenteisia kerrostaloja. Koerakentamisvaiheessa tavoitteena oli myös kehittää riittävä rakennus- ja tietotaito puukerrostalojen rakentamiseen. Kyseiseen vaiheeseen kuului suunnittelun lisäksi myös työmaatekninen toiminta, kuten puisten rakenneosien asennus. (Tolppanen ym. 2013, 16–17.)

2.2 Palomääräysten päivittyminen

Koerakentamisvaiheesta saatiin hyviä kokemuksia, joiden perusteella myös palomääräykset päivittyivät 1997. Päivityksen johdosta puun taulukkomitoitus tuli laajemmin käyttöön. Taulukkomitoitusta voitiin nyt hyödyntää laajemmin aina nelikerroksisiin rakennuksiin saakka, tämä tehosti puukerrostalojen suunnittelua. Palomääräysten jälkeen puukerrostalorakentamisen kehittyminen oli lupaavaa, myös rakennustapojen vakiintumista oli havaittavissa. Viranomaismääräykset ja -käytännöt eivät kuitenkaan olleet vielä vakiintuneet ja loivat haasteita puukerrostalojen rakentamiselle. Kehittyminen kuitenkin laantui 2000-luvun puolivälissä, sillä teollista läpimurtoa ei tapahtunut. Kuitenkin Ruotsin hyvät kokemukset, sekä suurten metsäyhtiöiden kiinnostus puurakentamista ja sen järjestelmiä kohtaan nostivat puukerrostalorakentamisen kiinnostusta. Vuoden 2009 alusta kehitystyö alkoi uudelleen ja tehostui lisää vuoden 2011 palomääräysten päivittymisen

jälkeen. Myös jatkuvassa kasvussa olevat ympäristöarvot ja ekologisuus ohjasivat rakentamista hiilineutraalimpaan suuntaan. (Tolppanen ym. 2013, 17–19.)

Palomääräysten päivittyminen vuonna 2011 mahdollisti kahdeksan kerroksisen puukerrostalon rakentamisen ja loi puulle tasavertaisemman aseman muihin rakennusmateriaaleihin nähden. Median lisääntynyt huomio kohti puurakentamista kasvattaa ihmisten tietoisuutta puurakentamisesta, jonka seurauksena myös yritysten kiinnostus puurakentamista kohtaan on kasvussa. (Tolppanen ym. 2013, 17–19.)

Viimeisin palomääräyspäivitys tuli voimaan 2018, päivitys paransi taas puun kilpailukykyä ja loi tasavertaisempaa asemaa muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin. Palomääräyspäivityksessä tuli muutoksia niin käytettäviin rakennusmateriaaleihin, kuin rakennuksen suojaverhouksen suunnitteluun. Näiden lievennysten avulla suunnittelijoiden on mahdollista tehdä yhä mielenkiintoisempia ja ainutlaatuisempia puukerrostaloja. (Viljakainen 2018.)

2.3 CLT-levyn tuotanto ja ominaisuudet

CLT tarkoittaa ristiinliimattua puuta, eli rakenteeltaan levy koostuu useista ristiinliimatuista lamelleista. Yhteen liimattavia lamelleja käytetään yleensä pariton kerros määrä levyn poikkileikkauksessa. Näistä yleisimmät määrät ovat kolme, viisi ja seitsemän kerrosta. Tämän tekniikan avulla saadaan luotua kevyt, mutta ominaisuuksiltaan luja ja jäykistävä rakennuslevy. Levyn dimensiot riippuvat osin valmistajasta, mutta CLT-levyn paksuus vaihtelee 60 millimetristä aina 400 millimetriin saakka. (Puuinfo 2020b.)

CLT-levyn tuotannossa käytetään syrjäliimattua ja syrjäliimaamatonta tekniikkaa. Syrjäliimattun levyn tuotantovaiheessa laudat yhdistetään niiden syrjistä liimaamalla luoden yksikerroksinen lautalevy. Syrjäliimauksen jälkeen levyt ladotaan ristikkäin yhtenäiseksi CLT-levyksi. Levyjen tiivistyminen yhtenäiseksi rakenteeksi vaatii kuitenkin vielä prässin aiheuttaman paineen. Syrjäliimaamattoman levyn tuotanto on lähes sama, ainoa tuotannollinen ero piilee lautojen ladontatekniikassa. Syrjäliimaamattomassa levyssä laudat ladotaan ristikkäin liimaamatta niitä ensin yhtenäiseksi levyksi. (Puuinfo 2020b.) CLT-levyn tuotannossa käytetään ympäristöystävällisiä formaldehydittömiä liimoja (Siikanen 2016, 105).

CLT-levyjen työstö tapahtuu CNC-jyrsimen avulla. Levyjen työstäminen pitkälle valmiusasteelle tapahtuu tehtaalla. Talotekniikka, ovet ja ikkunat saadaan aukotettua CNC-

jyrsimellä, jonka mittatarkkuus on ± 1 mm. (Puuinfo 2020b.) CLT-levyyn voidaan myös jyrsiä sähköjohdoille pintaura. Toinen sähköistys vaihtoehto on porata CLT-levyn sisään reikä sähköjohdoille, kuitenkin yli 1,5 m reiän poraaminen tuottaa haasteita terän pituuden vuoksi.



Kuva 2. CNC-jyrsin ja CLT-levyn tuotantolinjasto (Timberpoint 2020).

Kuten aiemmin mainittiin, CLT-levy on kevyt, mutta ominaisuuksiltaan luja ja jäykistävä rakennusmateriaali. CLT-levyn koostuminen ristikkäin liimatuista lamelleista luo kuormien jakautumisen kahteen suuntaan. Vastaava ominaisuus ennen CLT-levyä on ollut ainoastaan teräsbetonirakenteilla. (Stora Enso 2013a.) CLT-levyillä on myös mahdollisuus rakentaa kulmaikkunoita, sillä levy toimii myös tarvittaessa ulokkeena (Puuinfo 2020b).

Keveyden vuoksi CLT-levyn ääneneristävyys on heikko. Eristävyyttä on kuitenkin mahdollista parantaa lisäämällä rakenteeseen muita rakennekerroksia. (Puuinfo 2020b.) Heikon ääneneristävyyden vuoksi useissa puukerrostalokohteissa suunnittelijoiden tukena toimii akustikko. Akustikko määrittelee vaadittavat rakenteet, niiden paksuuden ja luo määräyksiä täyttävät äänitekniset ratkaisut.

CLT-levylle ei ole vielä yleisiä palomitoitusohjeita. Tämän seurauksena palomitoitus perustuu valmistajakohtaisiin ohjeisiin. CLT-levyn hiiltyminen eroaa normaalista puumateriaalista, sillä levy on rakennettu useista eri kerroksista. Tämän vuoksi puun hiiltyminen ei ole lineaarista, vaan hiiltymistä tapahtuu useilla eri nopeuksilla. (Viljakainen 2018, 92.)

2.4 Säädökset

Puukerrostalojen asuntosuunnittelu ei pääosin eroa muista kerrostaloista. Ero kuitenkin syntyy palomääräyksissä, sillä puukerrostalot sijoitetaan pääsääntöisesti P2-paloluokkaan. Syy tähän löytyy ympäristöministeriön asteuksesta 848/2017, jossa määritellään rakennusten paloturvallisuutta. Ympäristöministeriön asetus ohjaa eri määritelmillä rakennuksen paloluokkaa. Esimerkiksi rakennettaessa päällekkäisiä asuinhuoneistoja rajautuu paloluokka P3 pois. P1-paloluokka taas velvoittaa yleensä runkoa rakennettavaksi paloon erittäin rajoitetusti osallistuvilla materiaaleilla, mitä vaatimusta puu ei täytä. Toiminnallisella palomitoituksella on kuitenkin mahdollista määritellä kohde tiettyyn paloluokkaan. P2-paloluokassa oleva rakennus voi olla monikerroksinen ja sen kantava runkomateriaali voi olla paloon osallistuvaa. P2-paloluokka kuitenkin sisältää veloitteen varustaa asuinkerrostalo automaattisella sammutusjärjestelmällä. Ympäristöministeriön asetuksessa määritellään myös vaatimuksia rakenteiden palonkestoajalle ja suojaverhoukselle. (Puuinfo 2020c; Y 848/2017, 8. §.) Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta ohjaa suomalaista rakentamista varmistuen asukkaille turvallisen rakennuksen asua.

2.4.1 Paloteknisten säädöksien vaikutukset

Puukerrostaloilla on pääosin samat palonkestovaatimukset kuin muillakin vastaavan kokoisilla rakennuksilla. Kerrostalon kantavien rakenteiden palonkestovaatimuksena toimii 60 minuuttia. Tämän lisäksi puukerrostaloissa on useita lisävaatimuksia, jotka vielä heikentävät puukerrostalon kilpailukykyä. Puukerrostalon kaikki tilat tulee varustaa automaattisella sammutuslaitteistolla, joka estää tehokkaasti tulipalon kehittymisen ja leviämisen. Puun käyttämistä pintamateriaalina rajoitetaan tietyillä ehdoilla, esimerkiksi räystäiden ja poistumisteiden rakenteille on esitetty erityisiä vaatimuksia. (Puuinfo 2020c.)

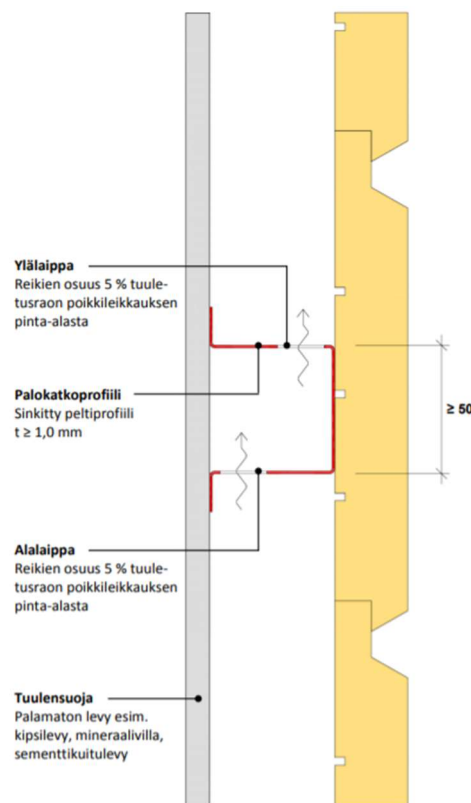
Rakennuksen palo-osastointi määritellään kirjain- ja numeroyhdistelmän avulla. Esimerkiksi palo-osastoiva seinä, jonka tulee kantaa kuormia, pitää rakenne tiiviinä palokaasuilta ja eristää palon lämpötilaa 60 minuutin ajan, merkitään lyhenteellä REI60. Kirjainyhdistelmässä R tarkoittaa rakenteen kantavuutta, eli rakenteen tulee kestää vaaditun palonkestoajan sortumatta. Kirjain E tarkoittaa tiiviyyttä, tällöin rakenteen tulee pysyä tiiviinä eristäen palokaasut vaaditun palonkestoajan. Eristävyyttä merkitään kirjaimella I, rakenne ei saa luovuttaa eristämäänsä tulipalon lämpösäteilyä rakenteen läpi vaadittuna

palonkestoaikana. Palonkestoajan määrittelee numerosarja lyhenteen lopussa, palonkesto aika merkitään aina minuutteina. (Lahtela 2018, 12.)

Puukerrostalon julkisivuissa voidaan käyttää puuverhousta, pois lukien alin kerros. Alimman kerroksen pintaluokkavaatimuksena on D-s2, d0, jonka määritelmä ilmenee taulukosta 1. Julkisivujen tuuletusraoissa palo tulee rajoittaa yhden kerroksen alueelle riittäväällä tehokkuudella. Tuuletusraoissa paloa rajoitetaan esimerkiksi palokatko profiililla, mikä ei estä julkisivun tuulettumista, mutta hidastaa palon leviämistä. Palokatko profiilin toiminta ilmenee kuvasta 3. Sisäpuolisten rakenteiden suojaverhouksessa käytetään yleisimmin kipsilevyä, jonka pintaluokkavaatimuksena on D-s2, d2. P2 paloluokan rakennuksen sisäpuolisen suojaverhouksen pintaluokkavaatimus kuitenkin määräytyy tarvikeluokkavaatimuksen mukaan. (Y 848/2017, 23. §; Puuinfo 2020a).

Rakennusmateriaalien paloluokitus					
Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen	s1	Ei esiinny	d0
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2	Vähäinen	s2	Nopeasti sammuvia esiintyy	d1
osallistuu hyvin rajoitetusti	B	Muu kuin s1 tai s2	s3	Muu kuin d0 tai d1	d2
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

Taulukko 1. Rakennusmateriaalien paloluokitus (Lahtela 2018, 24).



Kuva 3. Puujulkisivun palokatko (Puuinfo 2013).

Puukerrostaloihin vaadittu automaattinen sammutusjärjestelmä on tehokas ja turvallinen tapa suojata rakennus tulipalon kehittymiseltä. Sammutusjärjestelmä ei estä tulipalon syttymistä, mutta palon havaitessaan estää sen leviämisen ja kehittymisen. Sprinklerisuuttimen laukeamisen estää suuttimeen asennettu, nesteellä täytetty lasiampulli. Ampulli rikkoutuu nesteen lämmetessä vaaditulle tasolle, jonka seurauksena suuttimesta alkaa tulla vettä. Ampullien avulla sammutusjärjestelmän toiminta keskittyy ainoastaan paloalueelle ja jättää muun rakennuksen kuivaksi. Sprinklerisuuttimia on suunniteltu erilaisiin tilanteisiin ja tarpeisiin, kuten kuvasta 4 ilmenee. Koko sprinkleriputkisto on jatkuvasti vedellä paineistettu aina suuttimelle saakka, mutta sammutusjärjestelmä on mahdollista asentaa osin myös kylmään tilaan. Asennettaessa suutinta kylmään tilaan tullaan käyttämään kuivasuutinta, tällöin vettä ei ole johdettu suuttimelle saakka. Kyseisellä tekniikalla varmistutaan putkiston pysymisestä sulana ja taataan sprinklerijärjestelmän toiminta. (Lahtela 2018, 74–78.)



Kuva 4. Sprinklerisuuttimia erilaisiin järjestelmiin (Lahtela 2018, 76).

Puukerrostalorakentamisessa suojaverhouksen käyttäminen on varsin yleistä. Suojaverhouksen tehtävänä on suojata verhouksen takana olevaa materiaalia syttymiseltä, hiiltymiseltä ja vaurioitumiselta siltä vaadittavana aikana. Suojaverhouksen käyttäminen mahdollistaa palon rajoittamisen pois rakenteista, joiden osallistuminen paloon aiheuttaisi vaaraa. Tällaisilla rakenteilla tarkoitetaan yleisesti kantavia ja osastoivia rakenteita, sekä poistumistien turvaamiseen liittyviä rakenteita. Rakennuksen sisäpintojen suojaverhoukset perustuvat ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta. Puukerrostalorakentamisessa suojaverhaus on monilta osin välttämätön sillä puu ei kuulu A2-s1, d0-luokkaan, kuten betoni. (Lahtela 2018, 35–40.)

2.4.2 Äänitekniiikan vaikutukset ja säädökset

Puurakentamisen yhtenä heikkoutena pidetään ääneneristystä. Puurakentamisessa on kuitenkin mahdollista varsin yksinkertaisin menetelmin saavuttaa vähintään hyvä asun-
tokohtainen ääneneristävyys. (Siikanen 2016, 169.)

Yleisimmät rakennuksessa ilmenevät ilmaäänien lähteet ovat puhe, musiikki ja yleiset elämisestä johtuvat äänet. Ilmaäänien aiheuttavat rakenteiden värähtelyä, jonka seurauksena ääni siirtyy viereiseen tilaan. Ilmaääneneristyksen tavoitteena on vähentää äänen siirtymistä rakenteissa. Rakennuksessa mitatun ilmaääneneristysluvun lyhenne on R'_{w} , joka pystytään määrittelemään vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyyttä. Rakenteen ominaisuus eristää ääntä paranee ilmaääneneristävyyksluvun kasvaessa. Rakenteiden välisten liitosten eristävyyksistä ja ilmaääneneristävyydestä voidaan laskea äänitasoeroluku $D_{nT,w}$. (Ympäristöministeriö 2018, 19.) Uudiskohteen ääneneristykselle on määritelty ympäristöministeriön asetuksessa raja-arvot, jotka ilmenevät taulukosta 2 (Y 796/2017, 4. §).

Taulukko 2. Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle (Y 796/2017, 4. §).

Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53

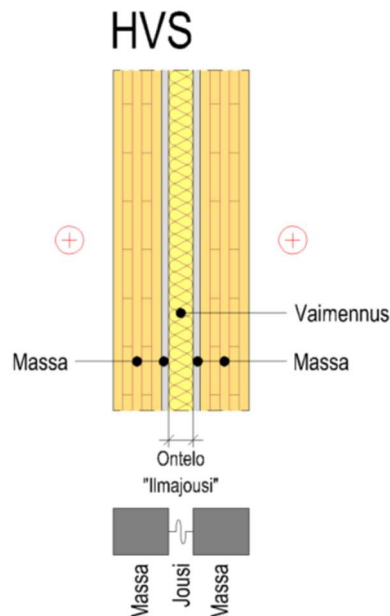
Tilassa kuultavat isku- ja töminä-äänet siirtyvät yleensä yläpuolisesta tilasta. Näitä ääniä kutsutaan askelääneksi ja usein lähteinä toimii yläpuolisessa tilassa tapahtuva kävely, esineiden putoaminen ja mahdollinen tavaroiden siirtely. Iskut aiheuttavat värähtelyä välipohjassa, joka aiheuttaa ilmaääntä viereisessä tilassa. Rakennuksessa mitattavaa askelääneneristävyyttä kuvataan askeläänitasoluvulla $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$. Mittauksessa määritetään askelääneneristys alemman tilan tuottamaan äänipainetasoon perustuen. Mittaus suoritetaan sijoittamalla ylempään asuntoon kuvan 5 mukainen askeläänikoje, mikä tuottaa askeläänien kaltaista värähtelyä välipohjaan. (Ympäristöministeriö 2018, 19.)



Kuva 5. Norsonic Nor277 -askeläänikoje (MIP Electronics Oy 2020).

Rakennuksen ääneneristävyydessä tulee huomioida rakennemateriaalien lisäksi sivutiesiirtymä. Sivutiesiirtymässä ääni siirtyy tilojen välillä jatkuvien rakenneosien kautta, joka on havaittavissa esimerkiksi betonikerrostaloissa. Puukerrostalon etuna on rakenteiden katkeaminen kerroksittain, mikä vähentää sivutiesiirtymää. Kuitenkin myös puukerrostalossa sivutiesiirtymä tulee huomioida rakennesuunnittelijan määritellessä rakennuksen liitoksia. (Ympäristöministeriö 2018, 19–20.)

Puurakentamisessa ääneneristys vaatimusten täyttäminen on kuitenkin vaikeampaa kuin samanlaisessa betonirakenteisessa kerrostalossa. Asuinhuoneistojen välisen seinän painon tulisi olla noin 500 kg/m^2 , jotta seinä saavuttaisi vaaditun ääneneristävyiden. Puuta käyttämällä seinän olisi tällöin noin yhden metrin paksuinen. Metrin paksuisen puurakenteisen seinän käyttäminen ei ole käytännöllistä. Puun ominaisuuksien vuoksi on kehitetty jousi-massa-yhdistelmä, jonka avulla puurakentamisen ääneneristävyttä pystytään parantamaan huomattavasti. Kuten kuvasta 6 voidaan tulkita, jousi-massa-yhdistelmä perustuu erillisiin rakennekerroksiin ja niiden välissä olevaan ilmatilaan. Rakenteen levymäiset massat toimivat erillisinä levyinä, joiden välisenä jousena toimii esimerkiksi ilmarako. Ilmarako voidaan täyttää pehmeällä vaimennusmateriaalilla, mikä lisää ääneneristävyttä entisestään. Kyseistä menetelmää voidaan hyödyntää kaikissa ääntä eristävissä rakenneosissa, kuten välipohjissa. (Puuinfo 2020a.)



Kuva 6. Huoneistojen välinen seinä (Puuinfo 2020a).

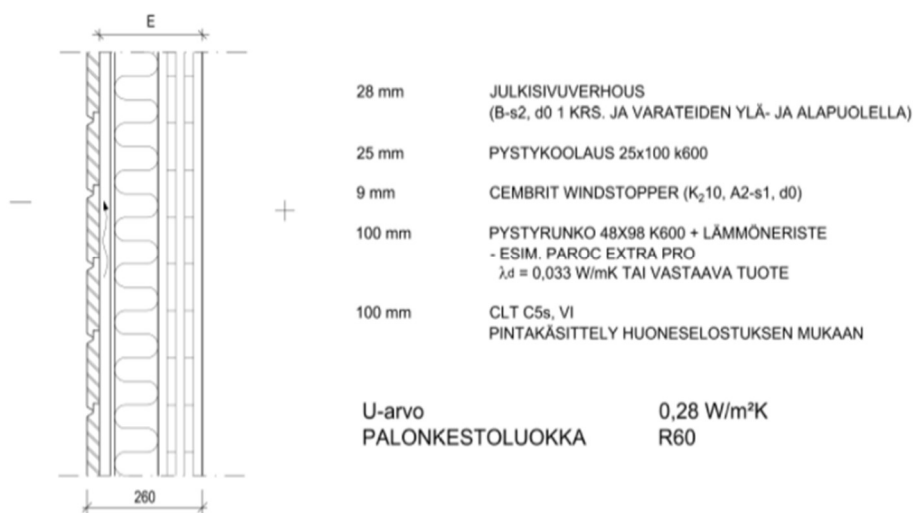
3 RAKENNUSTEN 1 JA 2 RAKENNETYYPIT

Seuraavaksi käsitellään vertailtavien rakennusten yleisimmät rakennetyypit. Tarkat käytettävät materiaalit ja niiden paksuudet selviävät työhön liitetystä kuvista. Rakennuksen 2 tuotanto on alkamassa, mutta rakennetyyppeihin on mahdollisesti silti tulossa vielä muutoksia. Opinnäytetyössä vertaillaan työn laadintahetkellä olleita rakennetyyppejä.

3.1 Ulkoseinät

Rakennuksen 1 ulkoseinän rakennetyyppi

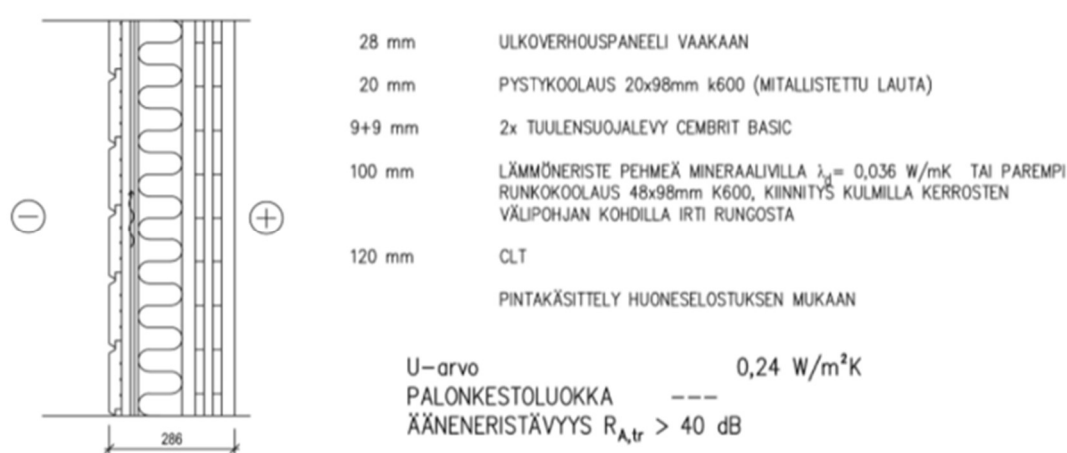
Rakennuksen 1 ulkoseinän rakennetyypissä (kuva 7) kantavana rakenteena toimii 100 mm paksu CLT-levy. CLT-levyyn on kiinnitetty puurakenteinen pystyrunko, jonka väliin asennetaan lämmöneriste. Tuulensuojalevynä toimii Cembrit Windstopper, levy toimii myös ääntä eristävänä materiaalina. Tuulensuojalevyn päälle kiinnitetään pystykoolausta, joka takaa ilman kiertämisen seinärakenteen ja julkisivuverhouksen välissä.



Kuva 7. Rakennuksen 1 ulkoseinän rakennetyyppi (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 ulkoseinän rakennetyyppi

Rakennusten ulkoseinän rakennetyypeissä ei ole suuria eroja (kuva 8). Rakennuksen 2 CLT-levy on 120 mm paksu ja toimii kantavana rakennemateriaalina. CLT-levyn jälkeen rakenteeseen on kiinnitetty runkokoolaus, joka mahdollistaa pehmeän mineraalivillan asentamisen. Tuulensuojalevynä toimii Cembrit Basic, joka parantaa mineraalivillan avulla ääneneristävyyttä. Tuulensuojalevyjä rakenteessa on kaksi kerrosta, mikä eroaa rakennuksen 1 ulkoseinärakenteesta. Ulkoverhouspaneeli on kiinnitetty pystykoolauksen avulla. Rakennetyypistä elementoidaan tehtaalla ainoastaan CLT-levy.



Kuva 8. Rakennuksen 2 ulkoseinän rakennetyyppi (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

Ulkoseinän rakennetyyppejä yhdistävät tekijät

Rakenteen vaadittu palonkesto-aika on R60, eli esitetyn rakenteen tulee kantaa sille joh-
 tuvat kuormat 60 minuutin ajan palon syttymisestä. Ensimmäisten kerrosten julkisivuver-
 hous, sekä varateiden ylä- ja alapuoliset pinnat on palosuojakäsitelty tasolle B-s2, d0.
 Sisäpuolisten palosuojaamattomien pintojen yhteenlaskettu pinta-ala palo-osastoidussa
 tilassa on pienempi kuin 20 %, jonka seurauksena puupinta voidaan jättää ilman suoja-
 verhousta. Palo-osastoitu tila tulee kuitenkin varustaa automaattisella sammutusjärjes-
 telmällä. (Y 848/2017, 24. §, 26. §.)

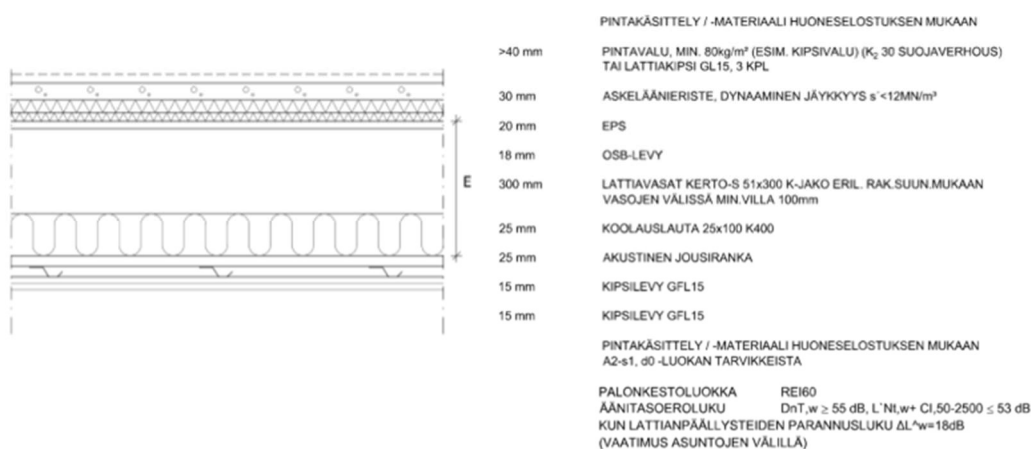
Molemmissa rakennetyypeissä äänimaailman hallintaan on käytetty jousi-massa-yhdis-
 telmää. CLT-levy sekä tuulensuojalevy toimivat yhdistelmän massana ja materiaalien

välissä oleva lämmöneriste toimii jousena. Yhdistelmän avulla rakenne täyttää sille asetut äänitekniset vaatimukset.

3.2 Välipohjat

Rakennuksen 1 välipohjan rakennetyyppi

Rakennuksen 1 välipohjan kuormien jakaantuminen tapahtuu välipohjapalkistolla (kuva 9). Välipohjapalkisto koostuu useista yhdensuuntaisista Kerto-S-palkeista, jotka siirtävät välipohjalle tulevat kuormat kantaville seinärakenteille. Rakennetyypissä välipohjapalkiston päälle valetaan pintavalu kelluvana lattiarakenteena. Kelluvaan lattiarakenteeseen kuuluu myös pintavalun alla olevat eristeet. OSB-levyn kiinnitys tapahtuu rakennetta tukeviin Kerto-S-palkkeihin. Kerto-S-palkkien väliin asennetaan mineraalivilla ääniteknisistä syistä. Välipohjapalkistoon kiinnitetään myös akustinen jousiranka, joka kannattelee kahta päällekkäistä kerrosta kipsilevyä.



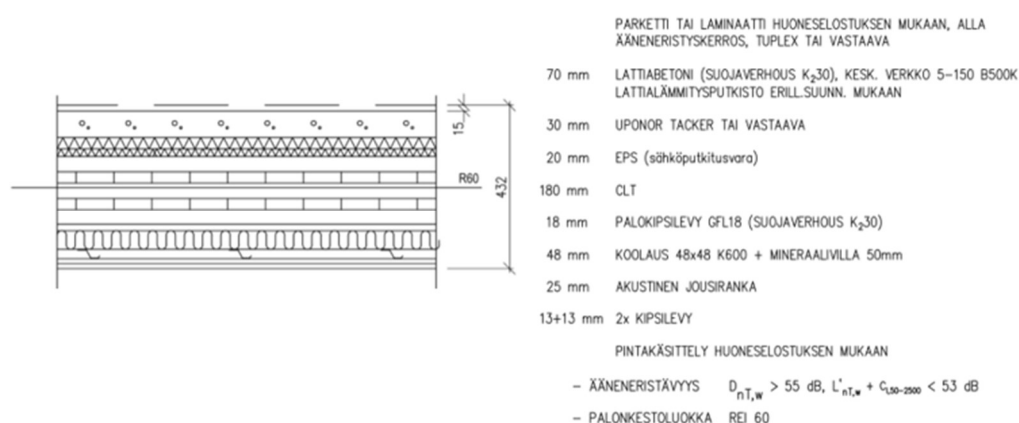
Kuva 9. Rakennuksen 1 välipohjan rakennetyyppi (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 välipohjan rakennetyyppi

Rakennuksen 2 välipohjan kantavana rakenteena toimii CLT-levy (kuva 10). Kelluvan lattiarakenteen ylin kerros on 70 mm lattiabetonia. Pintavalun muusta rakenteesta irrottaa kovat eristekerrokset. CLT-levyn alapuolelle asennetaan palonsuojajoverhoukseksi

palokipsilevy. Ääniteknisistä syistä palokipsin alapuolelle asennetaan mineraalivilla sekä akustinen jousiranka kipsilevyineen.

Palo-osastointiraja kulkee CLT-levyssä. Suojaverhouksena CLT-levyn yläpuolella sijaitsee lattiabetoni. Alapuolella useita kipsilevyjä, joista palokipsilevy on kiinnitetty suoraan CLT-levyn alapintaan. Rakennetyypistä on elementoitu ainoastaan CLT-levy.



Kuva 10. Rakennuksen 2 välipohjan rakennetyyppi. (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali.)

Välipohjan rakennetyyppejä yhdistävät tekijät

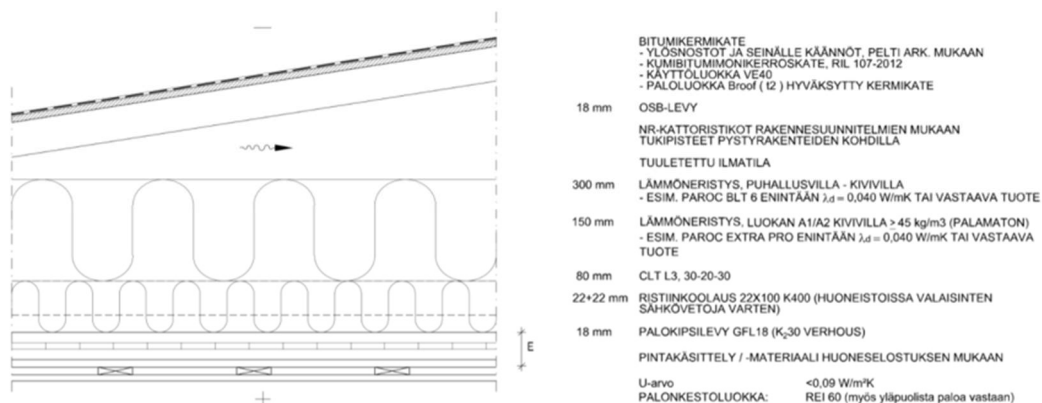
Palonkestoluokka molemmilla rakennetyypeillä on REI60, eli rakenteen tulee kestää ja rajoittaa paloa 60 minuutin ajan. Luokan ollessa REI tulee rakenteen pidättää myös palokaasuja ja lämpösäteilyä vaaditun palonkestoajan.

Rakenteiden äänitekniset ratkaisut ovat osin samat. Molemmissa välipohjissa käytetään akustista jousirankaa, mikä vähentää yläpuolisesta tilasta värähtelynä siirtyvää ääntä. Molempien rakenteiden ääneneristävyyden takaamisessa käytetään myös hyväksi jousimassa-yhdistelmää.

3.3 Yläpohjat

Rakennuksen 1 yläpohjan rakennetyyppi

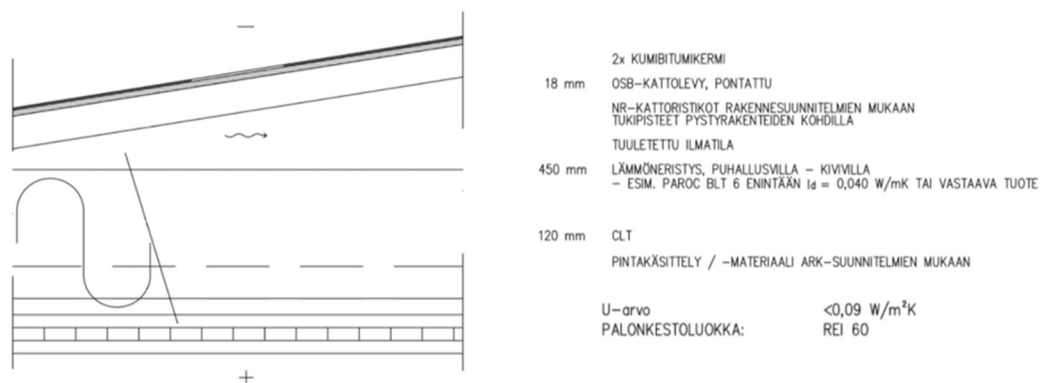
Rakennuksen 1 yläpohjan rakennetyyppi on perinteinen puurakennuksen yläpohja (kuva 11). Yläpohjan kantavana rakenteena toimii kattoristikko, jonka alapuolella oleva 80 mm paksu CLT-levy siirtää omasta ja eristeen painosta syntyvät kuormat seinärakenteille. Kattoristikon päälle asennetaan OSB-levy, joka päällystetään bitumikermikatteella. Lämmöneristeenä käytetään puhallusvillaa, sekä kivivillalevyä. CLT-levyn alapintaan kiinnitetään ristiinkoolaus talotekniikan vuoksi ja rakenne verhoillaan palokipsilevyllä.



Kuva 11. Rakennuksen 1 yläpohjan rakennetyyppi (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 yläpohjan rakennetyyppi

Rakennuksen 2 yläpohjan rakennetyyppi on lähes samalainen kuin rakennuksessa 1 (kuva 12.). Kantava rakenteena toimii kattoristikko ja 120 mm paksu elementoitu CLT-levy. Kattoristikoiden päälle asennetaan OSB-levy, joka mahdollistaa kaksinkertaisen kumibitumikermien asennuksen. Lämmöneristeenä käytetään 450 mm puhallusvillaa, joka asennetaan suoraan CLT-levyn yläpuolelle. Alapuolinen osuus pintakäsitellään arkkitehtisuunnitelmien mukaan.



Kuva 12. Rakennuksen 2 yläpohjan rakennetyyppi (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

Yläpohjan rakennetyyppejä yhdistävät tekijät

Molempien yläpohjan rakennetyyppien palonkestoluokkana toimii REI 60. Rakenteiden CLT-levy, sekä mahdollinen suojaverhoilu takaa kyseisen vaatimuksen täyttymisen. Vesikatteena rakenteissa toimii OSB-levyn päälle asennettava kumibitumikermi. Molemissa rakenteissa on tuuletettu ilmatila, mikä pidentää rakenteen elinkaarta.

3.4 Huoneistojen välinen seinä

Rakennuksen 1 huoneistojen välinen seinä

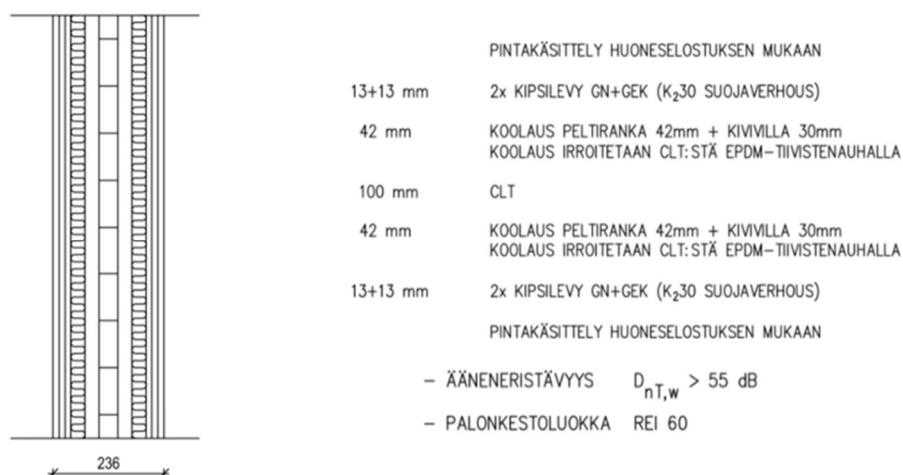
Rakennuksen 1 huoneistojen välisen seinän kantavana rakennemateriaalina toimii kaksi erillistä CLT-levyä (kuva 13). Palonsuojaverhouksena CLT-levyjen pintaan on asennettu palokipsilevyt, joiden avulla täytetään palotekniset vaatimukset. Rakenteen äänitekni- senä jousena toimii mineraalivillalla täytetty ilmarako CLT-levyjen välissä. Levyjen ja il- maraon yhteinen toiminta parantaa rakennetyypin ääneneristävyyttä.



Kuva 13. Rakennuksen 1 huoneistojen välinen seinä (Bonava Suomi Oy 2020, Yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 huoneistojen välinen seinä

Rakennuksessa 2 huoneistojen välisen seinän kuormat siirtää keskelle sijoitettu 100 mm:ä paksu CLT-levy (kuva 14). Rakennetyypistä on elementoitu ainoastaan CLT-levy. Molemmilla puolilla CLT-levyä on identtinen rakenne. CLT-levyn ja peltirangan väliin asennetaan EPDM-tiivistenauha, jonka tehtävänä on katkaista rakennetta pitkin siirtyvät värähtelyt. Peltirangan väliin asennetaan kivivilla. Rakenne peitetään kahdella kerroksella kipsilevyä. Kipsilevyjen ja kivivillan avulla rakennetyyppi täyttää palotekniset vaatimukset. Rakennetyypin elementoitu osa on ainoastaan 100 mm paksu CLT-levy.



Kuva 14. Rakennuksen 2 huoneistojen välinen seinä (Bonava Suomi Oy 2020, yrityksen sisäinen materiaali).

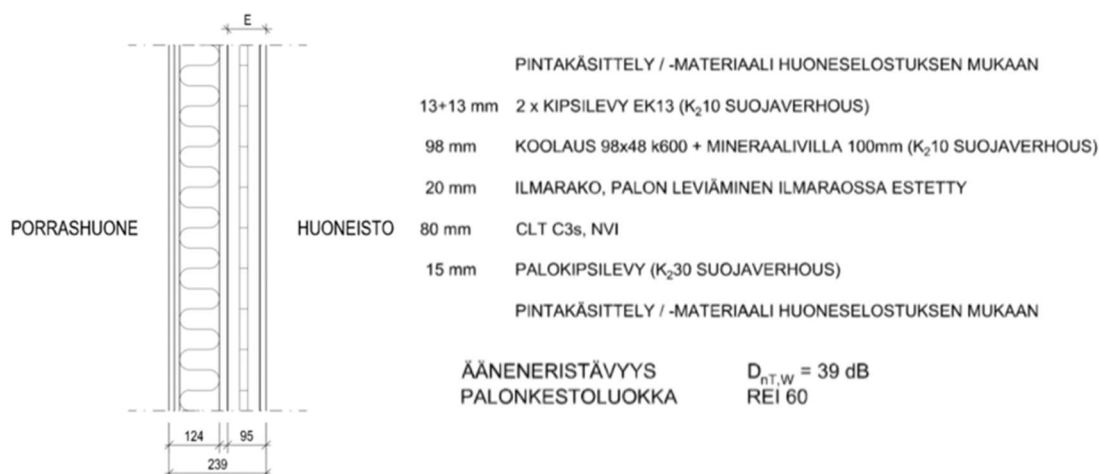
Huoneistojen välisiä seiniä yhdistävät tekijät

Palonkestoluokkana huoneiston välisillä seinillä on REI60. Huoneistojen väliset seinät osastoivat palon, tällöin palo ei pysty leviämään viereiseen asuntoon. Molempien rakennustyyppien näkyviin jäävä pinta on kipsilevyä palo- ja ääniteknisten vaatimusten vuoksi. Rakennustyypeissä käytetään myös jousi-massa-yhdistelmää ääniteknisten vaatimusten täyttämiseen.

3.5 Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Rakennuksen 1 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

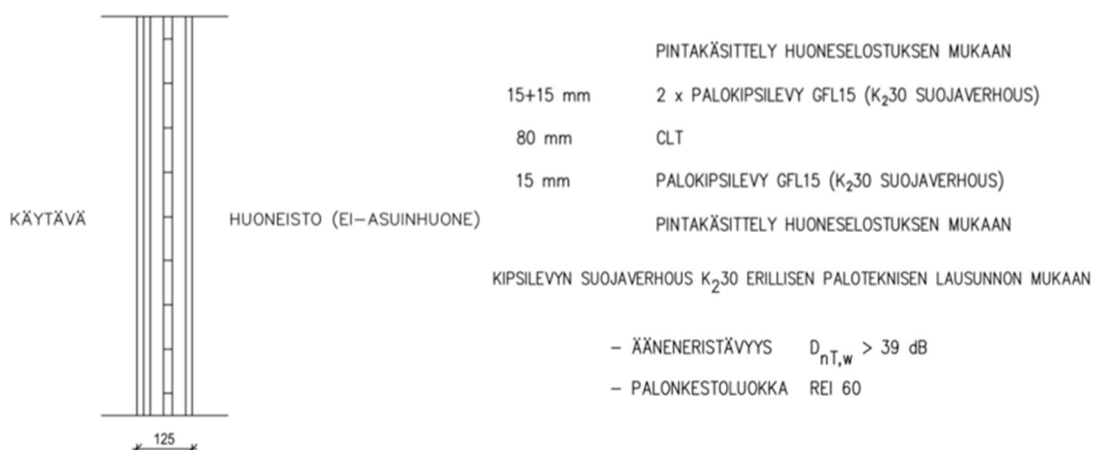
Rakennuksen 1 porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän kantavana rakennemateriaalina toimii CLT-levy (kuva 15). Huoneiston puolella CLT-levyn pintaan asennetaan palokipsilevy, joka käsitellään huoneselostuksen mukaan. Porrashuoneen puolelle tullaan asentaman 100 mm mineraalivillaa runkokoolauksen väliin. CLT-levyn ja runkokoolauksen väliin jätetään 20 mm ilmarako. Ilmarako tullaan katkaisemaan kerroksittain palon leviämisen estämiseksi. Runkokoolauksen pintaan asennetaan kaksinkertainen kipsilevy. Ääneneristykseen rakenteessa hyödynnetään jousi-massa-yhdistelmää.



Kuva 15. Rakennuksen 1 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä (Bonava Suomi Oy, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Rakennuksen 2 porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän kantavana rakennemateriaalina toimii myös CLT-levy (kuva 16). Rakenne on paljon ohuempi kuin rakennuksen 1 rakennetyyppi. Kantava CLT-levy on elementoitu ja verhoillaan työmaalla molemmilta puolilta palokipsilevyllä. Kyseisessä rakennetyypissä huoneisto-osuudelle on kirjattu ei-asuinhuone. Tällä tarkoitetaan huonetta, jossa asukas ei pääsääntöisesti oleskele, kuten kylpyhuonetta tai eteistä.



Kuva 16. Rakennuksen 2 porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä (Bonava Suomi Oy, yrityksen sisäinen materiaali).

4 RAKENTEIDEN VERTAILU

Rakenteiden vertailua varten haastateltiin molempien kohteiden puurakennesuunnittelijaa. Tämän lisäksi haastateltiin toisessa kohteessa tuotannossa toiminutta henkilöä, joka on myös osallistunut suunnittelemaan myöhemmin rakennettavan puukerrostalon tuotannollisia vaiheita. Tämän avulla hän pystyi kertomaan huomioita myös myöhemmin rakennettavasta puukerrostalosta. Vakioratkaisujen puute suunnittelussa näkyy myös tuotannon kautta. Useaan puukerrostalon detaliin tai rakennetyyppiin on mahdollista käyttää erilaisia ratkaisuja, joista tuotanto tarkastaa tilanteeseen sopivimman. Kuten tuliaan huomaamaan, tuotantotavat vaikuttavat rakennetyyppeihin ja kustannuksiin merkittävästi. Laajamittainen puukerrostalorakentaminen on vielä suhteellisen uutta, minkä vuoksi vakiintuneita käytäntöjä ei vielä ole saavutettu. Tämä näkyy muun muassa erilaisten hyväksi havaittujen rakennetyyppien ja -detaljen puutteena. Usein toimiviakaan rakennetyyppejä tai -detaljeja ei myöskään voida suoraan kopioida kohteesta toiseen, koska ei käytetä samoja tuotannollisia tai teknisiä lähtötietoja. Tämä on havaittavissa puukerrostaloja ja CLT-rakenteita käsittelevässä kirjallisuudessa, mikä on vähäistä. Näiden syiden vuoksi tässä luvussa esitetty tieto perustuu puurakentamisen ammattilaisten haastatteluihin.

4.1 Logistiikka

Vertaillessa näiden kahden rakennuksen rakennetyyppien luomia logistisia heikkouksia sekä vahvuuksia, havaittiin rakennetyypistä huolimatta joitain samalaisia huomioita. Tähän vaikutti selkeästi rakennuksen 2 rakennetyyppien vähäisempi elementointi. Rakennuksen 2 rakennetyyppien elementoitu osuus käsittelee ainoastaan puhtaan CLT-levyn. Kyseiset elementit ovat tällöin homogeenisiä CLT-levyrakenteita, kun taas rakennuksen 1 elementit valmistetaan useasta eri materiaalista pidemmälle asteelle tehtaassa.

Kun rakennetyyppi rakennetaan pidemmälle asteelle tehtaassa, tulee elementti kuljettaa tehtaalta työmaalle pystyasennossa. Tällöin rakennetyypin valmiit pinnat, kuten kipsilevyt eivät vahingoitu. Rakennetyypin ollessa pitkälle elementoitu tulee valmiit pinnat huomioida myös nostojen aikana. Kun rakennetyypistä elementoidaan ainoastaan CLT-levy saadaan logistiikkaan huomattavaa etua. Pelkkä CLT-levy pystytään kuljettamaan tehtaalta työmaalle vaakakuormana, jolloin elementit vievät reilusti alle 50 % pystykuorman

vaatimasta tilasta. Pelkän CLT-levyn nostotyö on myös työturvallisempaa, sillä elementti on kevyempi ja näin ollen helpommin hallittavissa. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Kuitenkin rakennuksen 2 elementtien vähäisen elementoinnin seurauksena työmaan muu logistiikka kasvaa merkittävästi. Elementoinnin päättyessä CLT-levyyn tulee työmaalle toimittaa erillisinä kuljetuksina kaikki rakennetyypin vaadittavat materiaalit, esimerkiksi lämmöneristeet ja tuulensuojalevyt. Myös työmaan sisäinen logistiikka kasvaa merkittävästi sillä kerrokseen tulee kuljettaa paljon suurempi määrä esimerkiksi kipsilevyä rakenteiden valmiiksi saattamiseksi.

Ulkoseinä

Ulkoseinien suurimmat logistiset erot havaitaan rakennetyyppien suojauksen tarpeessa, sekä helposti rikkoutuvien rakenneosien huolellisuutta vaativassa käsittelyssä. Rakennuksen 1 ulkoseinän rakennetyyppi on elementoitu lähes kokonaan, jolloin rakenteesta löytyvä eristekerros vaatii huolellisen suojauksen tehtaalta valmiiseen rakenteeseen saakka. Rakennuksen 2 rakennetyypistä on elementoitu ainoastaan CLT-levy, joka kestää kosteutta selvästi paremmin. Kastuessaan CLT-levyn pinta turpoaa kiinni, jonka seurauksena vesi ei pääse imeytymään muutamaa senttimetriä syvemmälle. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 2 ulkoseinien logistiikkaa helpottaa myös helposti rikkoutuvien rakenneosien puuttuminen. Toisin kuin rakennetyypissä 1, pelkkään CLT-levy elementtiin ei asenneta esimerkiksi ikkunoita tehtaalla. Vähäisen elementoinnin avulla pystytään ulkoseinäelementit toimittamaan vaakakuormina, eikä rakenteen logistiikassa tarvitse varoa särkyvien osien rikkoutumista. Työmaalla on myös mahdollisuus CLT-levyn hiomiselle sen mahdollisen likaantumisen tai kolhinnan vuoksi. Hiomalla CLT-levystä poistetaan ohut kerros vahingoittunutta puuta. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Välipohja

Puukerrostalorakentamisessa tulee huomioida puurakenteisen elementin keveys verrattuna samanlaiseen betonirakenteeseen. Puun keveyden ansioista kuljetuksia ei rajoita voimassa olevat kuljetusten painorajoitukset, minkä seurauksena elementin tilavuus

toimii rajoittavana tekijänä kuljetettavien elementtien määrässä. Rakennuksen 1 välipohjaelementin ollessa lähes kaksi kertaa paksumpi kuin rakennuksen 2 CLT-levyn, havaitaan elementtien kuljetuksissa merkittävä ero. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Useat rakennuksen 1 välipohjaelementit tuotetaan tehtaalla yli 3,5 metriä leveiksi. Kyseinen leveys tuottaa haasteita, sillä kuorman kuljetus kaupungin läpi selvästi vaikeutuu. Elementtien suuri leveys tuottaa myös haasteita kuormaukseen, vaikka elementit voidaan kiinnittää nostoliinoin hyvin yksinkertaisesti. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Yläpohja

Vertailtavien rakennusten yläpohjien elementoinnissa ei ole mitään eroa. Molempien rakennusten yläpohjan elementoitu osuus on CLT-levy, jonka paksuudeksi on määritetty 80 mm ja 120 mm. Tällöin molempien rakennusten CLT-levyt pystytään kuljettamaan vaakakuormina. Rakennuksen 1 yläpohjassa käytettävä CLT-levy on 40 mm ohuempi, mutta tästä ei synny merkittävää eroa kuljetuksiin. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Huoneistojen välinen seinä

Rakennuksen 1 huoneistojen välinen seinä rakennetaan kahdesta erillisestä elementistä. Elementtien pintaan on tehtaalla asennettu palokipsilevy, minkä vuoksi elementit tulee kuljettaa pystyssä. Palokipsilevy tulee näkymään valmiissa rakennuksessa, jonka vuoksi elementin kuljetuksessa tulee välttää levyn kolhimista. Palokipsilevy ei myöskään kestä kosteutta, joten elementin suojaus tulee hoitaa perusteellisesti. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 2 huoneistojen välinen seinä rakennetaan yhdestä elementistä. Elementin ollessa pelkkää CLT-levyä, ei elementtiä tarvitse suojata yhtä tarkasti kuin rakennuksen 1 elementtejä. Rakennuksen 2 elementissä ei ole muita materiaaleja, minkä vuoksi elementti pystytään toimittamaan työmaalle vaakakuormana. Elementin molemmin puolin tullaan rakentamaan useita rakennekerroksia, joiden ansiosta mahdolliset pienet

elementtiin syntyvät kolhut eivät luo korjaustarvetta. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Rakennuksen 1 porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän elementti on identtinen huoneistojen välisessä seinässä käytettävien elementtien kanssa. Huomiot ovat täten yhtenäisiä. Elementti tulee toimittaa pystyssä ja elementin suojauksesta kosteudelta tulee huolehtia perusteellisesti. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 2 porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän elementti on ainoastaan CLT-levyä. Etuna on elementtien kuljetus vaakana, eikä elementeissä ole kosteusherkkiä kipsilevyjä. Tämän lisäksi rakennuksen 2 rakennetyypin ollessa yksinkertaisempi syntyy tämän rakennetyypin osalta vähemmän muiden rakennemateriaalien logistiikkaa työmaalle. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

4.2 Tuotanto

Rakennetyyppejä vertaillessa tuotannollisesta näkökulmasta tulee huomioida näiden rakenteiden suuri ero elementoinnissa. Useissa rakennetyypeissä saavutetaan elementin asennusetuja vähäisen elementoinnin avulla. Kuitenkin elementin asennuksen jälkeen suuri työmäärä jää toteutettavaksi työmaalle, jotta rakenne saadaan saatettua valmiiksi. Pitkälle asteelle elementoidun rakenteen avulla työmaan työmäärän väheneminen on merkittävää. Lähes valmiin elementin asennuksen jälkeen ei työmaalla jää tehtäväksi kuin murto-osa koko rakennetyypin rakennusvaiheista. Tämän lisäksi tehtaalla suoritettavat rakennusvaiheet ovat tasalaatuisempia, sekä tehokkaampia toteuttaa sillä tehtaaseen ei vaikuta sääolosuhteet. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Verrattaessa rakennusten elementtejä havaitaan rakennuksen 2 elementtien olevan reilusti kevyempiä, sillä elementteihin ei asenneta tehtaalla mitään muita materiaaleja. Elementin keveyden ansiosta asennusvaiheen työturvallisuus kasvaa, sillä elementtejä on tällöin helpompi käsitellä. Keveyden ansiosta työmaanostimen nostoetäisyys kasvaa, jonka avulla nostimen siirtokerrat vähenevät. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 2 elementtien kiinnitys on myös helpompaa verrattuna toiseen rakennukseen. Kiinnityskohtien edessä ei missään tilanteessa ole muita rakenteita ja näin ollen elementtien asennus on tehokkaampaa. Rakennuksessa 2 ei myöskään ole riskiä suunnitteluvirheeseen jonka seurauksena jouduttaisiin purkamaan jo valmiita rakenteita asennustöiden mahdollistamiseksi. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Ulkoseinä

Rakennuksen 2 ulkoseinäelementin kiinnitys tapahtuu tehokkaasti, sillä elementti on pelkkää CLT-levyä. CLT-levyn pintaan asennettava pystyrunko on kuitenkin erittäin hidas asentaa, sillä kiinnitys tapahtuu kulmien avulla välipohjien kohdilta. Runkokoolausta ei saa kiinnittää suoraan ulkoseinäelementtiin. Rakennuksen 1 ulkoseinäelementtiin asennetaan tehtaalla lämmöneriste sekä tuulensuojalevy. Ääneneristävyysvaatimusten vaihtuessa on runkokoolaus mahdollista kiinnittää runkoon nopeuttaen työvaihetta huomattavasti. Tämän lisäksi tuulensuojalevyksi määritetty Cembrit Windstopper on tehokkaampi asentaa tehtaalla, sillä painoa levyllä on 13,7 kg/m² ja levyjen työstäminen on varsin työlästä. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020; Cembrit 2020, 19.)

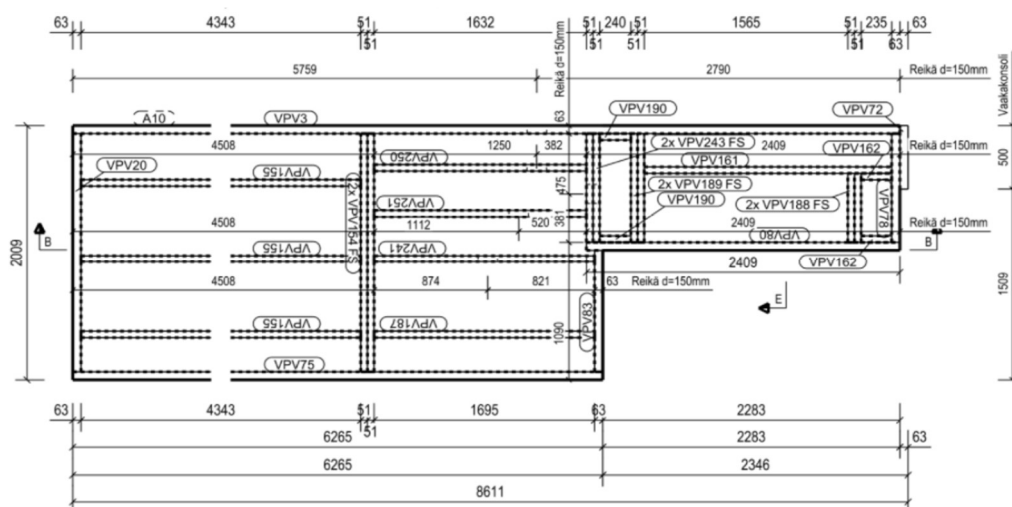
Rakennuksen 1 rakennetyypin elementoituun osaan kuuluu 100 mm:n lämmöneriste. Lämmöneristeen vuoksi elementti vaatii niin kuljetusten kuin asennuksen aikana tehokkaan ja huolellisen sääsuojauksen. Rakennuksen 2 elementoidun osan ollessa CLT-levyä ei sääsuojaukseen tarvitse kiinnittää niin paljon huomiota, sillä CLT-levy kestää kosteutta erittäin hyvin. Näin ollen pelkällä CLT-levyllä elementoitu rakennus on mahdollista rakentaa ilman sääsuojatelttaa. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 1 pitkälle viedyn elementoinnin ansiosta on rakenteeseen mahdollista asentaa parvekeovet sekä ikkunat jo tehtaalla. Asentaminen tehtaalla on nopeaa ja mitattarkkaa, jonka seurauksena asennukset ovat tasalaatuisia. Ikkunoiden ollessa elementissä jo elementin asennusvaiheessa luo riskin niiden rikkoutumiselle, mutta asennusten onnistuessa ongelmitta työmaan työmäärä pienenee huomattavasti. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Välipohja

Rakennusten välipohjien rakennetyypit ovat varsin erilaisia. Erilaisuudesta huolimatta asennusnopeus molempien rakennetyyppien elementoidulla osuudella on pääosin sama. Aikatauluturvallisempi vaihtoehto kuitenkin on rakennuksen 2 CLT-levystä valmistettu elementti, vaikka ilman haasteita asennettu välipohjapalkistoelementti on asennusnopeudeltaan samalla tasolla. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

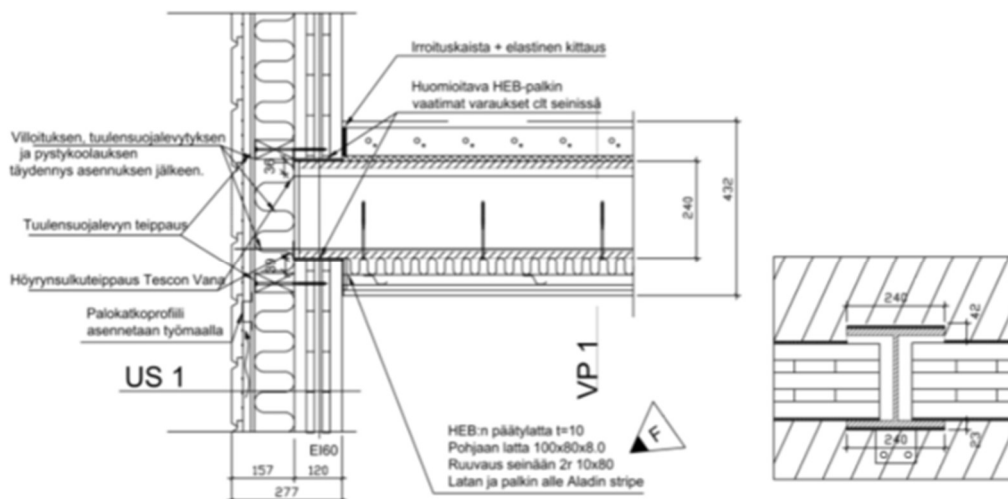
Rakennuksen 1 välipohjien elementointia vaikeuttaa kyseisten elementtien suuri koko. Suurimmat välipohjapalkistoelementit olivat noin 4,5 m leveitä ja 10 m pitkiä. Kyseisten elementtien suuri koko tuottaa ongelmia tehtaalla niin varastoinnin kuin elementtien kääntämisen puolesta. Kääntämisen ollessa työlästä on välipohjapalkistojen alapuoliset rakenteet suunniteltu tehtäväksi työmaalla. Elementtien koon hyötypuolia taas on suuren pinta-alan kattaminen jo yhdellä elementillä. Kuten kuvasta 17 ilmenee, rakennuksen 1 välipohjien elementointia hidastaa palkkijakojen vaihtelu sekä erikseen mitattavat poikkipalkit. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)



Kuva 17. Rakennuksen 1 välipohjaelementti (Bonava Suomi Oy, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 välipohjan elementoitu osuus on ainoastaan CLT-levyä. Kyseisen elementin tuotanto tehtaalla on selvästi yksinkertaisempaa, sillä kyseessä olevat elementit vievät vähemmän tilaa ja ovat tehtaalla helpommin käsiteltävissä. Pelkän CLT-levystä rakennetun elementin heikkoutena on sen taivutuskestävyys ja suuri taipuma. Ratkaisuna rakennuksessa 2 käytetään teräsprofiilipalkkeja, joihin osa CLT-levyistä työmaalla kiinnitetään (kuva 18). Painavien teräsprofiilien asennuksessa tulee kiinnittää erityistä

huomiota työturvallisuuteen. Työturvallisuuden vuoksi teräsprofiileille tulee varmistaa riittävä tukipinta-ala, eikä CLT-levyn ja teräsprofiilin liitos saa olla liian ahdas. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

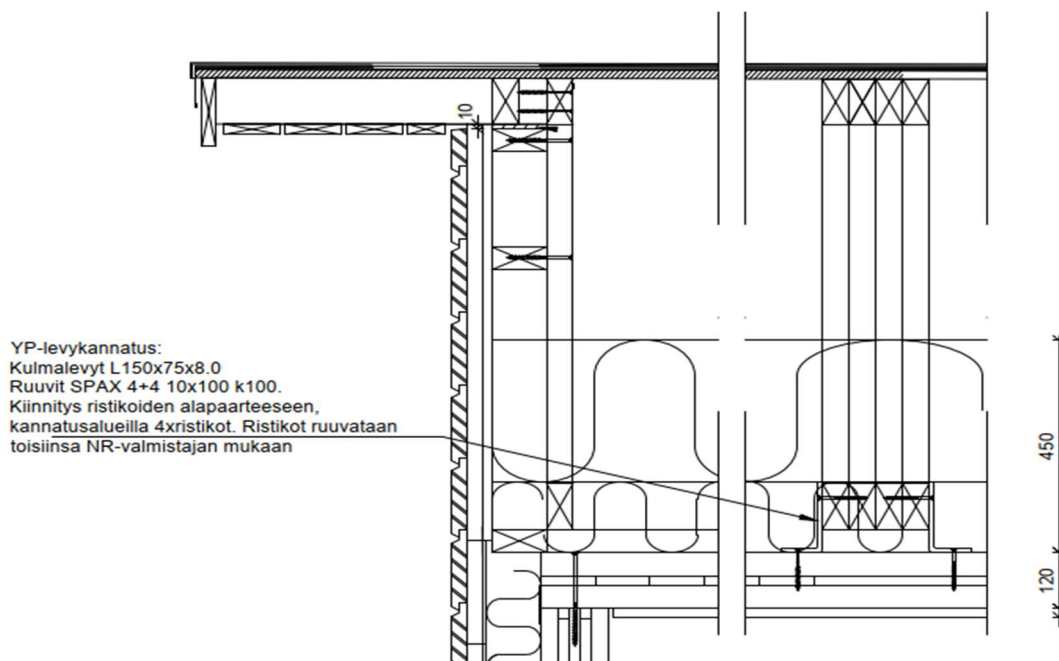


Kuva 18. Rakennuksen 2 teräsprofiilin liitosdetalji (Bonava Suomi Oy, yrityksen sisäinen materiaali).

Talotekniikan yhteensovittaminen molempien puukerrostalojen osalta tuotti omia haasteita. Rakennuksen 1 välipohjapalkistossa kulkee rakennuksen viemäriputket. Koska välipohjat toteutettiin elementteinä tuli osa viemäriputkista asentaa jo tehtaalla, luoden haastavia asennuksia. Viemäriin tulee saada oikeat kaadot jo tehtaalla, joten näiden asennus on tarkkaa. Rakennuksen 2 viemäriputkia ei voi asentaa CLT-levyn sisään rakenteellisen kestävyys vuoksi kuten betonirakentamisessa. Tämän vuoksi viemäriputket kulkevat CLT-levyn alapuolella luoden ahtautta muulle talotekniikalle. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Yläpohja

Molempien rakennusten yläpohjien haasteena on CLT-levyn taipuminen. Rakennuksen 2 CLT-levyn taipuma on kuitenkin pienempi 40 mm paksumman levyn ansiosta. Levyjen taipumaa pystytään myös vähentämään ripustamalla ne kulmalevyillä usean naulalevyristikon luomasta nipusta (kuva 19). (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)



Kuva 19. CLT-levyn kannatus naulalevyristikosta (Bonava Suomi Oy, yrityksen sisäinen materiaali).

Rakennuksen 2 naulalevyristikot suunniteltiin yhtenäiseksi ristikoksi koko rakennuksen matkalle, kun taas rakennuksen 1 naulalevyristikot olivat kaksiosaisia. Naulalevyristikoiden ollessa yksiosainen vähenee nostettavien kappaleiden määrä merkittävästi. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Huoneistojen välinen seinä

Rakennuksen 1 huoneistojen välinen seinä tullaan rakentamaan kahdesta elementistä, joiden kantavana rakennusmateriaalina toimii CLT-levy. 80 mm paksussa CLT-levyssä on havaittu varsin pahaa kiertymää. Pahimmillaan yhden huoneiston välisen seinän matkalla voi esiintyä jopa 160 mm:n kiertymä, mikä hidastaa ja vaikeuttaa elementin asennusta. Levyn ollessa kiero joudutaan asennustyönaikana käyttämään useita eri tekniikoita levyn saattamiseksi suoraan. Rakennuksen 2 huoneistojen välinen seinä rakennetaan yhdestä 100 mm paksusta CLT-levystä, joka on suurella varmuudella lähes täysin suora. Suoran CLT-levyn kiinnitys tapahtuu myös tehokkaammin, sillä elementissä ei ole kiinni mitään asennusta hidastavia rakennusmateriaaleja. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Vaikka rakennuksen 1 elementtien asennuksessa voi ilmetä haasteita, on asennuksen jälkeen huoneistojen välinen seinä lähes valmis. Tehtaalla valmiiksi kiinnitetyllä palokipsilevyllä luodaan elementoinnin suuri etu. Rakennuksen 2 elementtiasennuksen jälkeen tulee työmaan vielä rakentaa peltirankarungot molemmin puolin elementtiä. Peltirankaa ei myöskään saa kiinnittää suoraan runkoon, vaan se tulee irrottaa rungosta EPDM-kumilla, mikä hidastaa rungon rakentamisvaihetta merkittävästi. Myös rungon väliin asennettava 30 mm paksu eriste tulee asentaa irti CLT-levystä. Peltirankarungon päälle on asennettava vielä kaksinkertainen kipsilevy, jotta rakennetyyppi saadaan samalle valmiustasolle kuin pitemmälle elementoitui rakennetyyppi. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksessa 1 huoneistojen väliselle seinälle asennettavat rasiat tuli jyrsiä tehtaalla valmiiksi. Sähköjohdot asennettiin lattiamateriaalien alle, mikä pistorasioiden tapauksessa lyhentää roilottavien sähkövetojen matkaa huomattavasti. Rakennuksen 2 rakennetyypissä sähkövetoja ei tarvitse jyrsiä ollenkaan, sillä kipsilevyjen takana oleva tila riittää rasia-asennuksille ja sähkövedoille. Asennuksissa tulee kuitenkin muistaa, ettei rasiaa saa kiinnittää takana olevaan CLT-levyyn, vaan kiinnitys tapahtuu peltirankarunkoon. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Rakennusten porrashuoneen ja huoneistojen välisten seinien CLT-levyjen paksuudet ovat yhtenäiset. Kuitenkin rakennuksessa 1 CLT-levyn pintaan rakennettiin erillinen levyistä irrotettu runko. Rungon rakentaminen elementtiasennuksen jälkeen on hidas ja työläs työmaavaihe. 20 mm:n ilmaraon rakentaminen helposti kiertyvän 80 mm:n CLT-levyn viereen on myös työlästä. Kuitenkin CLT-levyn kiertyminen on pienempää porrashuoneen ja huoneiston välisellä seinällä, sillä levyssä on suuria aukkoja huoneistojen ovien varten. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Asennusnopeudeltaan molempien rakennusten elementit ovat samalla tasolla. Kuitenkin rakennus 2:n rakennetyypin ollessa paljon yksinkertaisempi saavutetaan suuri tuotannollinen etu verrattaessa koko rakennetyyppiä valmiiksi saatettuna. Vaikka rakennuksen 2 elementtiin asennetaan työmaalla molemmin puolin palokipsilevyjä, on nämä vaiheet paljon nopeampia verrattuna erillisen rungon rakentamiseen. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

4.3 Palotekniikka

Molempien rakennusten ollessa puukerrostaloja on useat palotekniset ratkaisut samoja. Rakennuksissa osastoivien rakenteiden läpiviennit tehtiin pääosin palokatkomanseteilla, jotta läpiviennin tuottama työmäärä pysyy mahdollisimman pienenä. Kuitenkin rakennetyyppien erot loivat joitain eroavaisuuksia, joita käsitellään rakennetyypeittäin. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Ulkoseinä

Ulkoseinien paloteknisissä ratkaisuissa ei ole paljoa eroa. Molemmat rakennetyypit on mitoitettu CLT-levyn hiiltymisnopeuden mukaan. Kyseistä levyä mitoittaessa tulee kuitenkin muistaa levyn delaminoituminen, eli levyssä käytettävän liiman lämmetessä saat-
taa levykerros pudota ennen kyseessä olevan kerroksen palamista. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Välipohja

Rakennusten välipohjien ollessa hyvin erilaiset, on niiden paloteknisissä ratkaisuissa havaittavissa myös eroja. Rakennuksen 1 välipohjapalkisto luo kerrosten väliin ontelon, mikä tulee huomioida määritellessä paloteknisiä ratkaisuja. Rakennuksen 2 välipohjan kantavana rakennusmateriaalina toimiva CLT-levy luo yhtenäisen paloalueen rajan. CLT-levyn palokestävyyden vuoksi monet palotekniset ratkaisut voitiin toteuttaa tutuilla betonteollisuuden ratkaisuilla. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 1 välipohjapalkisto ei itsessään kestä sille asetettua REI60k-palonkestoluokkaa, jonka seurauksena palkisto tuli palosuojata erittäin tarkasti. Akustisen jousirankakaton alapuolelle asennettu kaksinkertainen kipsilevy luo paloalueen rajan, mitä ei saa läpäistä. Tämän vuoksi huoneistojen reunat tulee palokitata kaikkialta asunnosta ja kipsilevyn läpi asennettavat rasiat tulee olla palorasioita. Myös paloalueenrajan lävistävä lattia-
kaivo tulee paloeristää. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksen 2 välipohjan ollessa CLT-levyä kulkee paloalueen raja CLT-levyn sisällä. Välipohjan alapuolelle asennettu kipsilevy toimii rakenteen suojaverhouksena, minkä saa ympäristöministeriön asetuksen mukaan läpäistä, kunhan läpäisty pinta-ala ei ylitä

20%:n rajaa. Seurauksena huoneistojen reunoja ei tarvitse palokitata, eikä huoneiston katossa tarvitse käyttää palorasioita. Kylpyhuoneessa sijaitsevan lattiakaivon eristys voidaan tehdä yksinkertaisesti käyttämällä palomansettia. (Y 848/2017, 24. §; N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Yläpohja

Rakennuksen 1 yläpohjan CLT-levy kantaa ainoastaan oman painonsa. Kuitenkin CLT-levy vaatii palokipsilevyn, jotta vaadittu palonkestoluokka täyttyy. Rakennuksessa 2 CLT-levy on 40 mm paksumpi, jolloin palokipsilevyä ei tarvita. Molempien rakennusten CLT-levyt on mitoitettu onnettomuuskuormalle, jossa on huomioitu naulalevyristikoiden selvästi heikompi palonkestoluokka. Naulalevyristikoiden sortuessa CLT-levy kantaa koko yläpohjan kuorman ja eristää tulipaloa vaadittavan ajan. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Huoneistojen välinen seinä

Molempien rakennusten huoneistojen väliset seinät on mitoitettu CLT-levyn hiiltymän ja suojaverhouksen perusteella. Rakennuksen 2 peltirankaseinän sisällä olevaa kivivillaa ei ole laskettu mitoitukseen mukaan, sillä rakenteen palonkestovaatimus täyttyy ilman. Kivivillan ollessa mukana eristämässä tulipaloa olisi varmistettava sen paikallapysyvyys myös kipsilevyjen romahtaessa. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Kummassakaan rakennuksessa huoneistojen välisiin seiniin ei tarvinnut käyttää palorasioita. Rakennuksessa 1 rasioita ei sijoitettu huoneistojen välisessä seinässä samalle kohdalle, jonka seurauksena riittävä määrä CLT-levyä säilyi ehjänä täyttäen paloluokkavaatimuksen. Rakennuksessa 2 paloalueen raja kulkee CLT-levyn keskellä, joten suojaverhous pystyttiin läpäistä. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Molempien rakennusten porrashuoneen ja huoneiston väliseinän paloluokkavaatimus täytettiin suojaverhouksen ja CLT-levyn hiiltymän perusteella. Rakennuksen 1

porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän keskellä on 20 mm:n ilmarako. Ilmaraossa palon leviäminen estetään kerroksittain asentamalla rakennusvaiheessa jokaisen kerroksen väliin pala kipsilevyä katkaisemaan ilmarako. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Molemmissa rakennuksissa porrashuoneen ja huoneiston väliseen seinään tehtävät läpiviennit tiivistetään palomansetilla. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

4.4 Äänitekniikka

Molempien rakennusten ollessa puukerrostaloja käytetään ääneneristävyysvaatimusten täyttämiseksi jousi-massa-yhdistelmää. Lähes kaikissa rakennetyypeissä on havaittavissa massa sekä jousi, joiden yhteisvaikutuksella ääneneristävyys paranee huomattavasti. Rakennuksella 2 on liikennemelun vuoksi suurempi ääneneristävyysvaatimus, minkä seurauksena ulkoseinärakenne on erilainen verrattuna rakennuksen 1 ulkoseinärakenteeseen. Molemmissa puukerrostaloissa rakenteiden ääneneristävyys on laskeutunut erikseen akustikko, varmistaen rakenteiden äänitekniisten vaatimusten täyttymisen. Puurakentamisessa on havaittu ääneneristävyysvaatimusten olevan suurempi haaste täyttää verrattuna paloteknisiin vaatimuksiin. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Ulkoseinä

Molempien rakennusten ääneneristävyys perustuu jousi-massa-yhdistelmään. Tämän avulla rakenne täyttää äänitekniiset vaatimukset ulkopuolelta tulevaa melua vastaan. Rakenteen ääneneristävyys vaikuttaa myös suuresti ikkunoiden ja parvekeovien ääneneristävyys. Rakennuksen 2 sijaitsevassa liikennemelualueella tulee kaikissa läpivienneissä muistaa kaksipuolinen kittausta. Läpivienti tulee siis kitata molemmilta puolilta rakennetta. Rakennetta ohentavat talotekniikan asennukset akustikko ottaa huomioon laskelemissaan asettamalla vaatimusta hieman korkeammat raja-arvot. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Välipohja

Rakennusten välipohjissa käytetään akustista jousirankaa parantamaan rakenteen ääneneristävyyttä. Huoneistojen kevyitä väliseiniä rakentaessa tulee kuitenkin huomioida, ettei yläjuoksua saa kiinnittää liian tiukasti sisäkattoon. Yläjuoksun tulee jäädä muutama millimetrin irti sisäkattomateriaalista, jolloin jousirangalla on mahdollisuus värähdellä. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennuksessa 1 välipohjapalkisto välit täytetään mineraalivillalla parantaen ääneneristävyyttä. Välipohjapalkiston luodessa onteloita mineraalivillalla poistaa myös näissä mahdollisesti syntyvän kaikukoppaefektin. Välipohjapalkistossa kulkevan ylemmän asunnon viemärin ääneneristys tapahtuu välipohjapalkistossa olevan mineraalivillan ja muiden rakennekerrosten avulla. Rakennuksessa 2 viemäriputken laskiessa suoraan alapuolella olevaan asuntoon tulee tämä rakentaa dB-viemärinä ja tämän lisäksi erikseen äänieristää huolellisesti. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Yläpohja

Molempien rakennusten yläpohjan ääneneristävyyden on laskenut akustikko. Yläpohjan ollessa villoitettua ja avointa tilaa luo tämä jousimaisen rakenteen, jonka massana toimii katemateriaalit ja CLT-levy. Yläpohjan ääneneristävyydelle ei erikseen ole vaadittu tiettyä ääneneristävyyttä. Ulkopuolelta tuleva melu ei saa olla huoneiston asukkaalle häiritsevää. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.) Äänilähteiden ollessa useiden kymmenien metrien päässä molempien rakennusten yläpohjien äänitekniset ratkaisut ovat varmasti riittäviä.

Huoneistojen välinen seinä

Molempien rakennusten rakennetyypeissä on selvästi nähtävissä jousi-massa-yhdistelmä. Rakennuksessa 1 CLT-levyt eivät kiinnity mistään kohdalta toisiinsa katkaisten värähtelyn erittäin tehokkaasti. Rasioita ei sijoiteta vastakkain eri huoneistojen välillä, minkä avulla varmistetaan riittävän paksu rakenne täyttämään ääneneristävyysvaatimukset. Rakennuksessa 2 molemmille puolille rakennettava erillinen runko on myös irtotettu CLT-levystä EPDM-kumilla, minkä seurauksena värähtely ei pääse välittymään

asunnosta toiseen. Rungon pintaan asennettava kaksinkertainen kipsilevy on täysin ääniteknisten vaatimusten täyttämiseksi. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä

Rakennusten porrashuoneen ja huoneiston välisten seinien rakenteet ovat hyvin erilaiset. Rakennuksen 1 rakennetyypissä havaitaan selvä jousi-massa-yhdistelmä, toisin kuin rakennuksen 2 rakennetyypissä. Rakennuksessa 2 porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän takana ei missään tilanteessa sijaitse huonetta, jossa asukas oleskelisi. Tämän seurauksena rakennetyyppi oli mahdollista rakentaa yksinkertaisemmin. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

Rakennetyypillä ei myöskään ole mahdollista parantaa ääneneristävyyttä muuta kuin tiettyyn pisteeseen saakka, sillä kyseisessä seinärakenteessa sijaitsee paljon pinta-alaa vievä huoneiston ovi. Huoneiston oven ääneneristävyyden ollessa 30 dB, ei seinärakenne pysty estämään oven läpi kulkeutuvaa ääntä. (N.N., henkilökohtainen tiedonanto 20.03.2020.)

5 PÄÄTELMÄT

Molempien rakennusten rakennetyypit ovat toimivia ja toteutettavissa. Rakennetyyppien toiminta niin ääniteknisestä kuin paloteknisestä näkökulmasta täyttyy. Tuotannollisesta näkökulmasta tarkasteltuna rakennetyypit ovat varsin erilaisia, vaikkakin suuri osa huomioista perustuu rakennetyyppien erilaiseen elementointiin. Logistiikka rakennusten välillä eroaa suuresti, sillä toisen rakennuksen rakennetyyppien loppuun saattaminen suoritetaan työmaalla. Vertailussa havaittiin eri rakennetyypeissä heikkouksia ja vahvuuksia, joiden pohjalta on mahdollisuus jatkotutkia millaiset rakennetyypit olisivat mahdollisimman tehokkaita niin tuotannon kuin talouden kannalta. Vertailussa on myös havaittavissa puurakentamisesta puuttuva rakennustapojen vakiointi.

5.1 Rakennus 1

Rakennuksen vahvuutena on pitkälle viety elementointi, mikä takaa rakennetyyppien tasalaatuisuuden ja tehokkaan tuotantotavan. Tehdastuotannossa valmistettu elementti pystytään rakentamaan sään vaikutuksilta suojassa, työturvallisessa ja miellyttävässä tilassa. Elementin valmistamisen ollessa nopeampaa, on elementin kokonaishintakin tällöin alhaisempi, mikä kompensoi kasvavia logistiikkakuluja. Varsin pitkälle valmiusasteelle saatettu elementti vaatii enemmän suojausta sateelta sekä kolhuilta.

Rakennuksen välipohjapalkisto on monin osin varsin työläs toteuttaa. Välipohjapalkistoon asennettavat viemäriputket hidastavat tuotantoa, sillä niiden asentaminen työmaalla ei ole mahdollista. Välipohjien palkkijaon vaihtelu ja poikkipalkkien suuri määrä estävät nopean tuotannon heikentäen välipohjapalkiston kannattavuutta. Elementtien suuri koko luo myös haasteita logistiikalle, sillä osa elementeistä joudutaan toimittaa työmaalle erikoiskuljetuksena leveyden vuoksi. Näiden lisäksi välipohjapalkiston luomat palotekniset vaatimukset kuten paloakryylikittaukset heikentävät välipohjaratkaisun kannattavuutta. Kuitenkin elementin ollessa valmis on sen asentaminen työmaalla nopeaa kattaen suuren pinta-alan kerralla. Myös talotekniikan asennukset vähenevät, sillä elementeissä on suuri osa viemäriputkista valmiina.

Rakennuksen huoneistojen välinen seinä on toimiva ja hyvä rakenne, mutta 80 mm:ä paksun CLT-levyn kierous hidastaa asennusta kohtuuttoman paljon. CLT-levyn ollessa suoraa on elementtien asennus nopeaa luoden lähes valmiin pinnan asuntoon.

Ääniteknisesti rakenne toimii äärimmäisen hyvin jousi-massa-yhdistelmällä, sillä elementit eivät ole toisissaan kiinni millään lailla. Rasioiden jyrsiminen CLT-levyyn tapahtuu CNC-jyrsimellä varsin nopeasti, eikä sähköjohtojen vetoja tarvitse jyrsiä pitkästi, sillä johdot kulkevat lattiassa.

5.2 Rakennus 2

Rakennuksen elementointi on kaikilta osin jätetty CLT-levylle. Vähäisen elementoinnin seurauksena työmaalle jää erittäin suuri määrä työvaiheita vielä suoritettavaksi. Tämä kasvattaa työtuntien määrää työmaalla sekä työmaan sisäistä logistiikkaa merkittävästi. Pelkälle CLT-levylle jätettyjen elementtien etuna on asennusnopeuden kasvaminen, suojauksen väheneminen ja elementtikuljetusten väheneminen. CLT-levystä rakennettu runko ei myöskään ole säänvaihteluille läheskään niin herkkä, kuin pitkälle elementoitu rakenne.

Rakennuksen CLT-levyistä suunniteltu välipohja saa etunsa säävaihteluiden kestävyys- ja betonteollisuudesta vakiintuneiden toimintatapojen kautta. Välipohjaelementti on nopea asentaa paikalleen ja levyn ollessa yhtenäinen rakenne, pysyy liitoskohtien määrä mahdollisimman pienenä. Välipohjarakenteeseen ei myöskään synny osastoitavia onteiloita, mikä kasvattaa välipohjaratkaisun tehokkuutta. CLT-levyn taivutuskestävyyden vuoksi rakenteeseen kuitenkin joudutaan asentamaan levyä kannattavia teräsprofiilipalkkeja, jotka nostavat välipohjan kustannusta.

Huoneistojen välinen seinä on yksinkertainen rakenne. Seinän keskelle asennettava 100 mm paksu CLT-levy on suora ja nopea asentaa. Kuitenkin erikseen rakennettava lisärunko jättää työmaalle suuren rakennusvaiheen. Lisärungon irrottaminen CLT-levystä hidastaa rungon rakentamista huomattavasti, mikä nostaa rakennetyypin kustannuksia. Lisärunko luo kuitenkin tilan talotekniikan asennuksille helpottaen seinälle tulevia asennuksia.

Porrashuoneen ja huoneiston välisen seinän rakenne on hyvin yksinkertainen. Suunnittelussa on huomioitu, ettei porrashuoneen seinä sivua esimerkiksi asunnon olohuonetta missään rakennuksen kerroksessa. Tämän avulla seinärakenne on mahdollista toteuttaa äärimmäisen yksinkertaisena, sillä huoneiston käyntiovi porrashuoneeseen on ääneristävyydeltään paljon heikompi.

6 YHTEENVETO

Puurakentaminen on selvästi vahvassa kasvussa. Tämä ilmenee puukerrostalojen rakentamisen jatkuvana lisääntymisenä. Myös median kasvava kiinnostus tuo lisää näkyvyyttä, mikä kasvattaa ihmisten mielenkiintoa puurakentamista kohtaan. Vaikka betonteollisuuden ratkaisut usein ovat kustannustehokkaampia, on puurakentamisen tehokkuus ottanut viime vuosien aikana suuria askeleita. Puurakentamisen hintaa nostaa vakioratkaisujen puuttuminen. Projektin alussa suunnitteluryhmä joutuu määrittelemään kerrokorkeutta myöten kaikki lähtötiedot, minkä seurauksena useissa tapauksissa rakennuksen suunnitteluun ei pystytä hyödyntämään vanhoja aiemmin opittuja tekniikoita.

Opinnäytetyössä ei päädytty yhteen toimivaan perusteltuun ratkaisuun, vaan molemmissa rakennuksissa käytettävät rakennetyypit toimivat niin asukkaan näkökulmasta kuin rakennusteknisesti. Rakennetyyppien suuresta vaihtelusta eri rakennusten välillä on havaittavissa vakioinnin puute, mikä luo jatkuvia haasteita rakennuttajille. Kuitenkin puukerrostalorakentamisen yleistyessä tulee vaadittavat ratkaisut yhä tutummiksi ja niiden kehittyminen on jatkuvaa.

Puu kerrostalon kantavana rakennusmateriaalina on monelle suunnittelijalle täysin uusi asia. Puukerrostalon taloteknisiä ratkaisuja ei voi täysin kopioida, mikä luo nykypäivän suunnittelijoille uudenlaisen haasteen. Puuta ei voida käsitellä samaan tapaan kuin teräsbetonia, vaan se vaatii suunnittelijaa ajattelemaan uusia ratkaisuja. Kuitenkin puun ehdoton vahvuus on sen työstettävyys. Puun jyrsiminen, poraaminen ja työstäminen on monin kerroin helpompaa sekä edullisempaa verrattuna teräsbetoniin.

Teräsbetonin ollessa suomalaisille rakennusyrityksille tunnettu ja turvallinen tapa, joutuvat yritykset haasteen eteen puukerrostaloprojekteissa. Kustannusten arvioiminen on vaikeaa, sillä usealla yrityksellä ei vielä ole suurta kokemusta puukerrostaloista. Haastetta lisää rakennusratkaisujen vaihtelu ja vakioinnin puute. Kuitenkin asiakkaiden mielenkiinto ekologisempaa asumista kohtaan on ohjaamassa myös Suomen suurimpia rakennusyrityksiä puurakentamisen suuntaan.

Ympäristötietoisuuden, ilmastonmuutoksen ja jatkuvassa kasvussa olevien ekologisten arvojen ottaessa suurempaa valtaa rakennusosalta, näen puurakentamisen olevan saamassa vahvaa jalansijaa Suomen kerrostalorakentamisessa. Ilmaston lämpeneminen ei ole enää tulevaisuuden haaste, vaan elämme kriittisiä hetkiä ratkaisujen löytymisen

kannalta. Maailman rakennusteollisuus tuottaa suuren osan maapallon hiilidioksidipäästöistä, minkä vuoksi juuri rakennusteollisuudella on suuri mahdollisuus etsiä ja löytää ympäristöystävällisempiä ratkaisuja.

Suomen ollessa tunnettu laajoista metsistä ja koulutuksen korkeasta tasosta, näen mahdollisuutena aloittaa vieläkin laajemman tutkimustyön puurakentamisen mahdollisuuksien selvittämiseen. Puurakentamiseen tulisi löytää vakioituneet rakennustavat, joiden avulla rakentamisen tehokkuus voitaisiin nostaa uudelle tasolle. Puurakentamisessa on mahdollisuus kaikkeen, ihmisten tieto ja taito tulee enää vain valjastaa rakennusteollisuuden käyttöön.

LÄHTEET

Arch2O 2020. All you need to know about cross laminated timber CLT. Viitattu 06.02.2020 <https://www.arch2o.com/cross-laminated-timber-clt/>.

Cembrit 2020. Tuoteluettelo. Saatavilla https://www.cembrit.fi/media/2039370/cembrit_tuoteluettelo2020.pdf.

Finnprofiles. 2020. Kumi tiivistemateriaalina. Viitattu 06.02.2020. <https://finnprofiles.com/fi/kumi-tiivistemateriaalina/>.

Karjalainen, M. 2019. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet suomessa. Viitattu 12.1.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>.

Lahtela, T 2018 Paloturvallinen puutalo. Helsinki: Puuinfo.

MIP Electronics Oy 2020. Norsonic Nor277 -askeläänikoje. Viitattu 24.1.2020. <https://www.mip.fi/fi/tuotteet/melu-ja-aani/rakennusakustiikka/norsonic-nor277-askel%C3%A4%C3%A4nikoje-detail>.

Puuinfo 2013. Puujulkisivun palokatko. Viitattu 6.5.2020. https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/TEKNINEN_TIEDOTE_Puujulkisivun%20palokatko.pdf.

Puuinfo 2019. Valmistuneet puukerrostalot 2019. Viitattu 18.1.2020. <https://www.puuinfo.fi/valmistuneet-puukerrostalot>.

Puuinfo 2020a. Digitaalinen työkalu puurakennushankkeen valmisteluun ja suunnitteluun. Viitattu 24.1.2020. <https://epuu.fi/>.

Puuinfo 2020b. Monikerroslevy (CLT). Viitattu 14.1.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy>.

Puuinfo 2020c. Puukerrostalon suunnittelu. Viitattu 15.1.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu>.

Puuinfo 2020d. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet suomessa. Viitattu 21.04.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>.

Puumerkki 2020. Termit tutuksi: OSB. Viitattu 30.1.2020. https://www.puumerkki.fi/pinnalla_nyt/tuotetietoa/termit_tutuksi_osb.

RT 83-10902 2003. Välipohjarakenteita. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Saint-Gobain 2019. Akustinen jousiranka AP 25. Helsinki. Saint-Gobain.

Siikanen, U 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SOM 2013. Timber tower research project, initial report. Saatavissa https://www.som.com/ideas/research/timber_tower_research_project > Download Initial Report.

Stora Enso 2013a. CLT-info. Viitattu 15.1.2020. <https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/statistika-lujuuslaskenta/>.

Stora Enso 2013b. CLT-tuotanto. Viitattu 6.5.2020. <https://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuura-kentaminen/tuotanto/>.

Timberpoint 2020. CLT- ja LVL- sekä liimapuulevyjen tarkkuustyöstöt. Viitattu 18.1.2020. <http://www.timberpoint.fi/tystopalvelut>.

Tolppanen, J. Karjalainen, M. Lahtela, T. & Viljakainen, M 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.

Viljakainen, M 1997. Puukerrostalo. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Viljakainen, M 2018 Uudet palomääräykset – Mikä muuttui puurakentamisen näkökulmasta?. Viitattu 15.1.2020. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puuinfo%20Uudet%20palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%20-%20mik%C3%A4%20muuttui.pdf>.

Ympäristöministeriö 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön asetus 796/2017. Asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Tullut voimaan 1.1.2018. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.

Ympäristöministeriön asetus 848/2017. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Tullut voimaan 1.1.2018. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170848>.